

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ ABDELHAMID BEN BADIS MOSTAGANEM



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
**Filière** : Sciences Biologiques  
**Spécialité** : Phytoremédiation et réhabilitation des sites pollués  
**Option** : Sciences du Sol et Environnement  
**Laboratoire de Biodiversité et Conservation des Eaux et des Sols**

**THÈSE**  
PRESENTÉE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE DOCTORAT 3<sup>ème</sup> CYCLE LMD

Par  
**M<sup>r</sup> MORTET Ahmed**

**ÉTUDE DU RÔLE DE QUELQUES PLANTES GRAMINÉES ET  
LÉGUMINEUSES DANS LA PHYTOREMÉDIATION DES SOLS  
POLLUÉS PAR LES HYDROCARBURES**

Soutenu publiquement le : 14 / 07 / 2019

**Membre de jury**

REGUIEG YSSAAD Houcine Abdelhakim	Professeur	Université de Mostaganem	Président
CHIBANI Abdelwaheb	Professeur	Université de Mostaganem	Directeur de thèse
MEKHALDI Abdelkader	Professeur	Université de Mostaganem	Examineur
MEHDADI Zoheir	Professeur	Université de Sidi Belabbes	Examineur

**Année universitaire : 2018-2019**

## Dédicaces

*Avant tout, c'est grâce à ALLAH, je suis arrivé  
à ce stade*

*Je dédise ce modeste travail avec toutes mes  
sentiments :*

*A mes très chers parents pour tous leurs  
sacrifices, leur amour, leur soutien et leurs  
prières tout au long de mes études.*

*A mes chers frères et sœurs*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis*

*A tous mes enseignants*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux  
tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

## Remerciement

*Je remercie tout d'abord **ALLAH** qui m'a donné la force et le courage de présenter ce travail.*

*Je voudrais remercier du fond du cœur **M<sup>r</sup> Chibani Abd Elwahab**, le Professeur à l'université de Abd Elhamid Ben Badiss de Mostaganem, qui m'a encadré cette étude au quotidien. Il fut toujours présent, en particulier lorsque je me suis confronté au doute, je lui suis reconnaissant pour : sa grande disponibilité, son ouverture d'esprit, son dynamisme et son optimisme, ainsi que pour ses précieux aides et conseils scientifiques, professionnels ou tout simplement humains.*

*Je tient à remercier aussi **M<sup>r</sup> Reguieg Yssaad Houcine Abd Elhakim**, le Professeur à l'université de Abd Elhamid Ben Badiss de Mostaganem et le responsable de notre parcours de doctorat, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury d'évaluation de notre thèse et pour la qualité de sa formation et de ses remarques durant ces années.*

*Mes vifs et sincères remerciements vont aussi au mon enseignant **M<sup>r</sup> Mekhaldi Abd Elkader**, le Professeur à l'université de Abd Elhamid Ben Badiss de Mostaganem, d'avoir eu l'amabilité d'accepter d'être membre de jury de ce travail et pour sa disponibilité et ses orientations.*

*J'adresse aussi mes vifs remerciements au **M<sup>r</sup> Mehdadi Zoheir**, le Professeur à l'université de Djilali Liabes de Sidi Bel Abbes, pour l'honneur que vous m'avez fait accepter de juger ce travail et de ses précises remarques.*

*Enfin, je remercie ma famille et tous mes amis et mes collègues et ceux qui ont participé au succès de ce travail de près ou de loin.*

## **Merci à tous**

## Résumé

Les composés pétroliers sont l'un des polluants les plus couramment rencontrés dans l'environnement (et spécialement dans le sol) constituant un facteur environnemental stressant pour les plantes. C'est pour ça, notre travail met en évidence les effets des hydrocarbures (le gasoil et l'huile de moteur usée) sur les potentialités de croissance et la capacité de tolérance de deux espèces, une graminée représentée par l'orge (*Hordeum vulgare*) et l'autre est une légumineuse nommée le soja (*Glycine max*). Les plantes ont été semées, selon un dispositif expérimental en randomisation, dans cinq différentes concentrations de gasoil (0%, 0.125%, 0.25%, 0.375% et 0.5%) et cinq doses de l'huile de moteur usée (0%, 1.25%, 2.5%, 3.75% et 5%) pour étudier les paramètres germinatifs, bio-morphologiques, physiologiques et biochimiques de chaque espèce.

Les résultats obtenus ont montré que le gasoil et l'huile de moteur usée ont diminué d'une façon non significative le taux de germination de l'orge, ce qui est reflété sur la vitesse et la moyenne journalière de germination. A l'inverse, le taux de germination du soja est augmenté causant une diminution de la vitesse de germination et une augmentation dans la moyenne journalière par l'effet du gasoil et d'une moindre mesure par l'huile de moteur.

Les paramètres physio-morphologiques ont été étudiés, et les résultats ont donné une réduction significative dans les paramètres de croissances suite à l'augmentation des concentrations des deux molécules hydrocarbonées. Cela s'est reflété par la diminution de la longueur, du poids, du nombre et la surface des feuilles, et en particulier dans la productivité des deux plantes testées sous la pression de l'huile de moteur que le gasoil. Cependant, la teneur relative en eau est augmentée dans l'orge inversement à la teneur relative du soja qui a subi une diminution suivie par l'augmentation du taux de déperdition d'eau avec la conservation des valeurs de déficit hydrique de saturation des feuilles proches que possible avec le témoin.

Arrivant aux conséquences du gasoil et de l'huile de moteur sur les paramètres biochimiques de l'orge et même du soja, les teneurs de protéines et de chlorophylles a, b, totale et caroténoïdes/xanthophylles ont connu une baisse significative accompagnée par une accumulation importante de la proline et des sucres solubles dans des organes précis. Les antioxydants, tant qu'ils sont utilisés pour freiner le stress, ont été augmentés soit par les polyphénols ou les flavonoïdes ou même par l'activité antioxydante par le radical DPPH selon l'évolution du stress hydrocarboné.

Globalement, les résultats obtenus ont constitué des outils de compréhension sur la manière dont l'orge et le soja réagissent par différents mécanismes contre les hydrocarbures en activant ces mécanismes selon la faiblesse ou la force des conditions du stress imposées.

**Mots clés :** Hydrocarbures, Gasoil, Huile de moteur usée, Orge *Hordeum vulgare*, Soja *Glycine max*, Phytoremédiation.

## Abstract

Petroleum compounds are one of the most common pollutants found in the environment (and especially in soil) as a stressful environmental factor for plants. That's why our work highlights effects of hydrocarbons (diesel and spent motor oil) on growth potential and the tolerance capacity of two species, a grass represented by barley (*Hordeum vulgare*) and a legume called soybean (*Glycine max*). Plants were sown, according to a randomized experimental setup, in five different concentrations of gasoil (0%, 0.125%, 0.25%, 0.375% and 0.5%) and five doses of spent motor oil (0%, 1.25%, 2.5%, 3.75% and 5%) to study the germinative, bio-morphological, physiological and biochemical parameters of each species.

The results showed that gasoil and spent motor oil decreased in a non-significant way the barley germination rate, which is reflected in speed and mean daily germination. On the other hand, the germination rate of soybean is increased causing a decrease in time of germination rate and an increase in the mean daily by effect of gasoil and a lesser extent by spent motor oil.

Physio-morphological parameters were studied, and the results gave a significant reduction in growth parameters following the increase of concentrations of the two hydrocarbon molecules. This was reflected by the decrease in length, weight, number and surface area of leaves, and especially in productivity of both plants tested under the pressure of spent motor oil than gasoil. However, relative water content is increased in barley inversely to the relative water of soybean which has been decreased followed by the increase in relative water loss with conservation of water deficit desaturation values of leaves as close as possible with the witness.

Arriving at consequences of gasoil and spent motor oil on biochemical parameters of barley and soybean, the levels of proteins and chlorophylls a, b, total and carotenoids / xanthophylls have experienced a significant decrease accompanied by a significant accumulation of proline and soluble sugars in specific organs. Antioxidants, as long as they are used to curb stress, have been increased either by polyphenols or flavonoids or even by the antioxidant activity by radical DPPH according to the evolution of hydrocarbon stress.

Overall, the results obtained provided tools for understanding how barley and soybean react to different mechanisms against hydrocarbons by activating these mechanisms according to weakness or strength of stress conditions imposed.

**Key words :** Hydrocarbons, Gasoil, Spent motor oil, Barley *Hordeum vulgare*, Soybean *Glycine max*, Phytoremediation.

## المخلص

تعتبر المركبات البترولية واحدة من أكثر الملوثات شيوعا في البيئة (وخاصة في التربة) كعامل بيئي مؤثر على النباتات. لهذا السبب، انصب عملنا على تأثير الهيدروكربونات (الغازوال وزيت المحركات المستعمل) على إمكانات النمو وقدرة التحمل لنوعين من النباتات، الفصيلة النجيلية ممثلةً في الشعير (*Hordeum vulgare*) والنوع الآخر هو الفصيلة البقولية ممثلةً في فول الصويا (*Glycine max*). زرعت النباتات، وفقا لإعدادات تجريبية عشوائية، في خمسة تراكيز مختلفة من الغازوال (0، 0.125، 0.25، 0.375، و0.5٪) وخمس جرعات من زيت المحركات المستعمل (0، 1.25، 2.5، 3.75، و5٪) لدراسة المعايير الإنبائية، البيومورفولوجية، الفسيولوجية والبيوكيميائية لكل نوع. أظهرت النتائج انخفاض معدل إنبات الشعير وذلك تحت تأثير الغازوال وزيت المحركات المستعمل، والذي انعكس على سرعة ومتوسط الإنبات اليومي له. على العكس من ذلك، ارتفع معدل إنبات فول الصويا مما أدى إلى انخفاض زمن الإنبات وزيادة المعدل اليومي من خلال تأثير الغازوال وبدرجة أقل عن طريق زيت المحركات.

تمت دراسة المعايير الفيزيومورفولوجية، وقد أعطت النتائج انخفاضا كبيرا في معاملات النمو تبعاً لزيادة تراكيز الغازوال وزيت المحركات. وقد انعكس ذلك من خلال الانخفاض في طول ووزن النباتات وفي عدد ومساحة أوراقها، وبصفة خاصة في إنتاجية كلا النباتين وهذا تحت تأثير زيت المحركات أكثر من الديزل. مع ذلك، زاد محتوى الماء النسبي (RWC) في الشعير على عكس فول الصويا التي انخفض المحتوى النسبي وزادت نسبة فقدان الماء (RWL) فيها في نفس الوقت مع الحفاظ على قيم عجز التشبع (DHS) قريبة أكثر مما يمكن من الشاهد.

وصولاً إلى تأثير الغازوال وزيت المحركات على المعايير البيوكيميائية للشعير وحتى لفول الصويا، شهدت مستويات البروتينات والكلوروفيل أ، ب، الكلي والكاروتين/كزانثوفيل انخفاضا كبيرا مصحوبا بتراكم البرولين والسكريات القابلة للذوبان في أعضاء محددة للنباتين. مضادات الأكسدة، طالما أنها تستخدم لكبح الإجهاد، قد شهدت ارتفاعا إما عن طريق البوليفينول أو الفلافونويد أو حتى من خلال نشاط مضادات الأكسدة من قبل الجذر الحر (DPPH) وفقا لزيادة الضغط الهيدروكربوني.

عموما، قدمت النتائج التي تم الحصول عليها أدوات لفهم كيفية تفاعل الشعير والصويا مع آليات مختلفة ضد الهيدروكربونات من خلال تفعيل هذه الآليات وفقا لضعف أو قوة ظروف الإجهاد المفروضة.

**الكلمات المفتاحية:** الهيدروكربونات، الغازوال، زيت المحركات المستعمل، الشعير، فول الصويا، المعالجة النباتية.

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau 1. Typologie simplifiée des principaux composés hydrocarbonés. ....</b>	<b>11</b>
<b>Tableau 2. Principales propriétés physico-chimiques du gasoil .....</b>	<b>12</b>
<b>Tableau 3. Classification d'une huile minérale sur la base des structures moléculaires. ....</b>	<b>13</b>
<b>Tableau 4. Résumé des principales propriétés physico-chimiques de l'huile de moteur. ....</b>	<b>14</b>
<b>Tableau 5. Méthodes de réhabilitation thermique des sols contaminés. ....</b>	<b>20</b>
<b>Tableau 6. Les doses du gasoil et de l'huile de moteur dans le sol. ....</b>	<b>34</b>
<b>Tableau 7. Composition chimique de la solution nutritive Hoagland (1938). ....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau 8. Texture du substrat de culture utilisé dans l'étude. ....</b>	<b>50</b>
<b>Tableau 9. Caractéristiques chimiques du substrat de culture utilisé. ....</b>	<b>51</b>
<b>Tableau 10. Caractéristiques biologiques du sol utilisé (matière organique). ....</b>	<b>51</b>

## Liste des figures

Figure 1. Composition du gasoil.....	12
Figure 2. Fabrication d'une huile de base minérale issue de l'extraction du pétrole brut. ....	13
Figure 3. Composition de l'huile lubrifiante. ....	14
Figure 4. Principe de la solidification / stabilisation <i>in situ</i> . ....	17
Figure 5. Pompage et traitement avec injection d'un tensioactif. ....	18
Figure 6. Principe du pompage-écrémage.....	19
Figure 7. Principe de la désorption thermique <i>ex situ</i> . ....	21
Figure 8. Différentes techniques de phytoremédiation. ....	24
Figure 9. Processus de détoxification des xénobiotiques dans les cellules végétales. ....	24
Figure 10. Système de rhizofiltration. ....	25
Figure 11. Phytoextraction induite par un chélateur (à droite) et la Phytoextraction continue (à gauche). ....	27
Figure 12. Métabolisme du sélénium dans la plante. ....	28
Figure 13. Localisation de la station expérimentale. ....	30
Figure 14. L'orge <i>Hordeum vulgare</i> L. variété locale SAIDA 1983. ....	31
Figure 15. Le soja <i>Glycine max</i> L. variété Queen. ....	33
Figure 16. Dispositif expérimental de l'essai conduit sous serre. ....	36
Figure 17. Principe de fixation de bleu de Coomassie dans la méthode de Bradford.....	42
Figure 18. Formation des composés furfuraliques en milieu acide. ....	44
Figure 19. Voies de biosynthèse de la chlorophylle et de la proline. ....	45
Figure 20. Principe de la réduction du réactif de Folin-Ciocalteu. ....	46
Figure 21. Mécanisme de réaction de chlorure d'aluminium avec les flavonoïdes.....	47
Figure 22. Réaction de réduction de DPPH 2,2-diphényl-2-picryl-hydrazyle. ....	48
Figure 23. Taux de germination du soja <i>Glycine max</i> et de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> après une pré-germination primaire de 04 jours. ....	50
Figure 24. L'effet du gasoil sur le taux de germination des graines de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> pendant 08 jours.....	52
Figure 25. L'effet de l'huile de moteur usée sur le taux de germination des graines de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> pendant 08 jours. ....	53
Figure 26. L'effet du gasoil sur le taux de germination des graines du soja <i>Glycine max</i> pendant 08 jours.....	53
Figure 27. L'effet de l'huile de moteur usée sur le taux de germination des graines du soja <i>Glycine max</i> pendant 08 jours. ....	54
Figure 28. L'effet du gasoil sur la cinétique de germination des graines de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> pendant 08 jours.....	55
Figure 29. L'effet de l'huile de moteur usée sur la cinétique de germination des graines de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> pendant 08 jours. ....	55
Figure 30. L'effet du gasoil sur la cinétique de germination des graines du soja <i>Glycine max</i> pendant 08 jours.....	56
Figure 31. L'effet de l'huile de moteur usée sur la cinétique de germination des graines du soja <i>Glycine max</i> pendant 08 jours.....	57
Figure 32. L'effet du gasoil sur la vitesse de germination des graines de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> pendant 08 jours.....	57

Figure 33. L'effet de l'huile de moteur usée sur la vitesse de germination des graines de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> pendant 08 jours. ....	58
Figure 34. L'effet du gasoil sur la vitesse de germination des graines du soja <i>Glycine max</i> pendant 08 jours.....	59
Figure 35. L'effet de l'huile de moteur usée sur la vitesse de germination des graines du soja <i>Glycine max</i> pendant 08 jours.....	59
Figure 36. L'effet du gasoil sur la moyenne journalière de germination des graines de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> pendant 08 jours. ....	60
Figure 37. L'effet de l'huile de moteur usée sur la moyenne journalière de germination des graines de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> pendant 08 jours.....	60
Figure 38. L'effet du gasoil sur la moyenne journalière de germination des graines du soja <i>Glycine max</i> pendant 08 jours. ....	61
Figure 39. L'effet de l'huile de moteur usée sur la moyenne journalière de germination des graines du soja <i>Glycine max</i> pendant 08 jours.....	62
Figure 40. L'effet du gasoil sur la cinétique de la longueur de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> . ....	67
Figure 41. L'effet de l'huile de moteur usée sur la cinétique de la longueur de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	68
Figure 42. L'effet du gasoil sur la cinétique de la longueur du soja <i>Glycine max</i> .....	68
Figure 43. L'effet de l'huile de moteur usée sur la cinétique de la longueur du soja <i>Glycine max</i> . ....	69
Figure 44. L'effet du gasoil sur la cinétique de nombre de feuilles de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> ... ..	70
Figure 45. L'effet de l'huile de moteur usée sur la cinétique de nombre de feuilles de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	71
Figure 46. L'effet du gasoil sur la cinétique de nombre de feuilles du soja <i>Glycine max</i> .....	72
Figure 47. L'effet de l'huile de moteur usée sur la cinétique de nombre de feuilles du soja <i>Glycine max</i> .....	73
Figure 48. L'effet du gasoil sur la cinétique de nombre de talles de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> . ....	73
Figure 49. L'effet de l'huile de moteur usée sur la cinétique de nombre de talles de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	74
Figure 50. L'effet du gasoil sur la surface foliaire totale de l'orge.....	74
Figure 51. L'effet de l'huile de moteur usée sur la surface foliaire totale de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> . ....	75
Figure 52. L'effet du gasoil sur la surface foliaire totale du soja <i>Glycine max</i> . ....	76
Figure 53. L'effet de l'huile de moteur usée sur la surface foliaire totale du soja <i>Glycine max</i> ... ..	76
Figure 54. L'effet du gasoil sur la longueur aérienne, racinaire et totale de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> . ....	77
Figure 55. L'effet de l'huile de moteur usée sur la longueur aérienne, racinaire et totale de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	78
Figure 56. L'effet du gasoil sur la longueur aérienne, racinaire et totale du soja <i>Glycine max</i> . ..	79
Figure 57. L'effet de l'huile de moteur usée sur la longueur aérienne, racinaire et totale du soja <i>Glycine max</i> . ....	80
Figure 58. L'effet du gasoil sur le poids frais aérien, racinaire et total de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> . ....	81
Figure 59. L'effet de l'huile de moteur usée sur le poids frais aérien, racinaire et total de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	82
Figure 60. L'effet du gasoil sur le poids frais aérien, racinaire et total du soja <i>Glycine max</i> . ....	83

Figure 61. L'effet de l'huile de moteur usée sur le poids frais aérien, racinaire et total du soja <i>Glycine max.</i> .....	84
Figure 62. L'effet du gasoil sur le poids sec aérien, racinaire et total de l'orge <i>Hordeum vulgare.</i> .....	85
Figure 63. L'effet de l'huile de moteur usée sur le poids sec aérien, racinaire et total de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	86
Figure 64. L'effet du gasoil sur le poids sec aérien, racinaire et total du soja <i>Glycine max.</i> .....	87
Figure 65. L'effet de l'huile de moteur usée sur le poids sec aérien, racinaire et total du soja <i>Glycine max.</i> .....	88
Figure 66. L'effet du gasoil sur le nombre d'épis par plante de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	89
Figure 67. L'effet de l'huile de moteur usée sur le nombre d'épis par plante de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	89
Figure 68. L'effet du gasoil sur le nombre de fruits (cornes) par plante du soja <i>Glycine max.</i> ...	90
Figure 69. L'effet de l'huile de moteur usée sur le nombre de fruits (cornes) par plante du soja <i>Glycine max.</i> .....	91
Figure 70. L'effet du gasoil sur la teneur relative en eau de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	97
Figure 71. L'effet de l'huile de moteur usée sur la teneur relative en eau de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	98
Figure 72. L'effet du gasoil sur la teneur relative en eau du soja <i>Glycine max.</i> .....	98
Figure 73. L'effet de l'huile de moteur usée sur la teneur relative en eau du soja <i>Glycine max.</i> ..	99
Figure 74. L'effet du gasoil sur le taux de déperdition d'eau de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	100
Figure 75. L'effet de l'huile de moteur usée sur le taux de déperdition d'eau de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	101
Figure 76. L'effet du gasoil sur le taux de déperdition d'eau du soja <i>Glycine max.</i> .....	102
Figure 77. L'effet de l'huile de moteur usée sur le taux de déperdition d'eau du soja <i>Glycine max.</i> .....	103
Figure 78. L'effet du gasoil sur la matière sèche de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	104
Figure 79. L'effet de l'huile de moteur usée sur la matière sèche de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> ...	105
Figure 80. L'effet du gasoil sur la matière sèche du soja <i>Glycine max.</i> .....	106
Figure 81. L'effet de l'huile de moteur usée sur la matière sèche du soja <i>Glycine max.</i> .....	107
Figure 82. L'effet du gasoil sur le déficit hydrique de saturation de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> ...	107
Figure 83. L'effet de l'huile de moteur usée sur le déficit hydrique de saturation de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	108
Figure 84. L'effet du gasoil sur le déficit hydrique de saturation du soja <i>Glycine max.</i> .....	109
Figure 85. L'effet de l'huile de moteur usée sur le déficit hydrique de saturation du soja <i>Glycine max.</i> .....	109
Figure 86. L'effet du gasoil sur les teneurs en pigments chlorophylliens ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ matière fraîche) de l'orge <i>Hordeum vulgare.</i> .....	114
Figure 87. L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en pigments chlorophylliens ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ matière fraîche) de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	115
Figure 88. L'effet du gasoil sur les teneurs en pigments chlorophylliens ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ matière fraîche) du soja <i>Glycine max.</i> .....	116
Figure 89. L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en pigments chlorophylliens ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ matière fraîche) du soja <i>Glycine max.</i> .....	117
Figure 90. L'effet du gasoil sur les teneurs en protéines totales ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ matière fraîche) de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	118

Figure 91. L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en protéines totales (mg.g <sup>-1</sup> matière fraîche) de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	118
Figure 92. L'effet du gasoil sur les teneurs en protéines totales (mg.g <sup>-1</sup> matière fraîche) du soja <i>Glycine max.</i> .....	119
Figure 93. L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en protéines totales (mg.g <sup>-1</sup> matière fraîche) du soja <i>Glycine max.</i> .....	120
Figure 94. L'effet du gasoil sur les teneurs en sucres solubles totaux (mg.g <sup>-1</sup> matière sèche) de l'orge <i>Hordeum vulgare.</i> .....	121
Figure 95. L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en sucres solubles totaux (mg.g <sup>-1</sup> matière sèche) de l'orge <i>Hordeum vulgare.</i> .....	121
Figure 96. L'effet du gasoil sur les teneurs en sucres solubles totaux (mg.g <sup>-1</sup> matière sèche) du soja <i>Glycine max.</i> .....	122
Figure 97. L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en sucres solubles totaux (mg.g <sup>-1</sup> matière sèche) du soja <i>Glycine max.</i> .....	123
Figure 98. L'effet du gasoil sur les teneurs en proline (mg.g <sup>-1</sup> matière sèche) de l'orge <i>Hordeum vulgare.</i> .....	124
Figure 99. L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en proline (mg.g <sup>-1</sup> matière sèche) de l'orge <i>Hordeum vulgare.</i> .....	125
Figure 100. L'effet du gasoil sur les teneurs en proline (mg.g <sup>-1</sup> matière sèche) du soja <i>Glycine max.</i> .....	125
Figure 101. L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en proline (mg.g <sup>-1</sup> matière sèche) du soja <i>Glycine max.</i> .....	126
Figure 102. L'effet du gasoil sur les teneurs en polyphénols totaux (µg EAG / g matière sèche) de l'orge <i>Hordeum vulgare.</i> .....	138
Figure 103. L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en polyphénols totaux (µg EAG / g matière sèche) de l'orge <i>Hordeum vulgare.</i> .....	138
Figure 104. L'effet du gasoil sur les teneurs en polyphénols totaux (µg EAG / g matière sèche) du soja <i>Glycine max.</i> .....	139
Figure 105. L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en polyphénols totaux (µg EAG / g matière sèche) du soja <i>Glycine max.</i> .....	140
Figure 106. L'effet du gasoil sur les teneurs en flavonoïdes (µg EQ / g matière sèche) de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> .....	141
Figure 107. L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en flavonoïdes (µg EQ / g matière sèche) de l'orge <i>Hordeum vulgare.</i> .....	141
Figure 108. L'effet du gasoil sur les teneurs en flavonoïdes (µg EQ / g matière sèche) du soja <i>Glycine max.</i> .....	142
Figure 109. L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en flavonoïdes (µg EQ / g matière sèche) du soja <i>Glycine max.</i> .....	143
Figure 110. L'effet du gasoil sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH (%) de l'orge <i>Hordeum vulgare.</i> .....	144
Figure 111. L'effet de l'huile de moteur usée sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH (%) de l'orge <i>Hordeum vulgare.</i> .....	144
Figure 112. L'effet du gasoil sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH (%) du soja <i>Glycine max.</i> .....	145
Figure 113. L'effet de l'huile de moteur usée sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH (%) du soja <i>Glycine max.</i> .....	146

## Liste des annexes

Annexe 01. Courbes d'étalonnage, Tableaux de références des sols, Planches et photos de l'expérimentation, Corrélation entre les paramètres étudiés.....	177
Annexe 02. Traitements statistiques des résultats du paramètre Taux de germination final.....	192
Annexe 03. Traitements statistiques de la variance des résultats du paramètre « Cinétique de germination » des graines de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> stressées au gasoil.....	193
Annexe 04. Traitements statistiques de la variance des résultats du paramètre « Cinétique de germination » des graines de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> stressées à l'huile de moteur.....	195
Annexe 05. Traitements statistiques de la variance des résultats du paramètre « Cinétique de germination » des graines du soja <i>Glycine max</i> stressées au gasoil.....	197
Annexe 06. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Cinétique de germination » des graines du soja <i>Glycine max</i> stressées à l'huile de moteur.....	199
Annexe 07. Traitements statistiques des résultats du paramètre «Vitesse de germination».....	200
Annexe 08. Traitements statistiques des résultats de la «Moyenne journalière de germination».	202
Annexe 09. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Cinétique de longueur » de l'orge sous l'effet du gasoil.....	203
Annexe 10. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Cinétique de nombre de feuilles » de l'orge sous l'effet du gasoil.....	205
Annexe 11. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Surface foliaire totale » de l'orge sous l'effet du gasoil.....	207
Annexe 12. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Longueur aérienne, racinaire et totale » de l'orge sous l'effet du gasoil.....	208
Annexe 13. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Poids frais aérien, racinaire et totale » de l'orge sous l'effet du gasoil.....	209
Annexe 14. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Poids sec aérien, racinaire et totale » de l'orge sous l'effet du gasoil.....	210
Annexe 15. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Teneur relative en eau RWC » de l'orge sous l'effet du gasoil.....	211
Annexe 16. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Taux de déperdition d'eau RWL » de l'orge sous l'effet du gasoil.....	211
Annexe 17. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Matière sèche MS » de l'orge sous l'effet du gasoil.....	212
Annexe 18. Traitements statistiques des résultats du paramètre «Déficit hydrique de saturation DHS» de l'orge sous l'effet du gasoil.....	213
Annexe 19. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Chlorophylle » de l'orge sous l'effet du gasoil.....	214
Annexe 20. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Protéines totales » de l'orge sous l'effet du gasoil.....	215
Annexe 21. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Sucres solubles totaux » de l'orge sous l'effet du gasoil.....	216
Annexe 22. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Proline » de l'orge sous l'effet du gasoil.....	217

<b>Annexe 23. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Polyphénols totaux » de l'orge sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>218</b>
<b>Annexe 24. Traitements statistiques des résultats du paramètre « flavonoïdes » de l'orge sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>220</b>
<b>Annexe 25. Traitements statistiques des résultats du paramètre « l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH » de l'orge sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>221</b>
<b>Annexe 26. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Cinétique de longueur » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>222</b>
<b>Annexe 27. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Cinétique de nombre de feuilles » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>224</b>
<b>Annexe 28. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Surface foliaire totale » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>227</b>
<b>Annexe 29. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Longueur aérienne, racinaire et totale » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>227</b>
<b>Annexe 30. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Poids frais aérien, racinaire et totale » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>228</b>
<b>Annexe 31. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Poids sec aérien, racinaire et totale » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>229</b>
<b>Annexe 32. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Teneur relative en eau RWC » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>230</b>
<b>Annexe 33. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Taux de déperdition d'eau RWL » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>230</b>
<b>Annexe 34. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Matière sèche MS » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>231</b>
<b>Annexe 35. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Déficit hydrique de saturation DHS » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>233</b>
<b>Annexe 36. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Chlorophylle » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>233</b>
<b>Annexe 37. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Protéines totales » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>234</b>
<b>Annexe 38. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Sucres solubles totaux » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>235</b>
<b>Annexe 39. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Proline » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>236</b>
<b>Annexe 40. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Polyphénols totaux » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>238</b>
<b>Annexe 41. Traitements statistiques des résultats du paramètre « flavonoïdes » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>239</b>
<b>Annexe 42. Traitements statistiques des résultats du paramètre « l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH » du soja sous l'effet du gasoil.....</b>	<b>240</b>
<b>Annexe 43. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Cinétique de longueur » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>241</b>
<b>Annexe 44. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Cinétique de nombre de feuilles » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>243</b>

<b>Annexe 45. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Surface foliaire totale » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>245</b>
<b>Annexe 46. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Longueur aérienne, racinaire et totale » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>246</b>
<b>Annexe 47. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Poids frais aérien, racinaire et totale » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>247</b>
<b>Annexe 48. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Poids sec aérien, racinaire et totale » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>248</b>
<b>Annexe 49. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Teneur relative en eau RWC » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>249</b>
<b>Annexe 50. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Taux de déperdition d'eau RWL » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>249</b>
<b>Annexe 51. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Matière sèche MS » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>250</b>
<b>Annexe 52. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Déficit hydrique de saturation DHS » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>251</b>
<b>Annexe 53. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Chlorophylle » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>252</b>
<b>Annexe 54. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Protéines totales » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>253</b>
<b>Annexe 55. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Sucres solubles totaux » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>254</b>
<b>Annexe 56. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Proline » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>255</b>
<b>Annexe 57. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Polyphénols totaux » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>256</b>
<b>Annexe 58. Traitements statistiques des résultats du paramètre « flavonoïdes » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>258</b>
<b>Annexe 59. Traitements statistiques des résultats du paramètre « l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>259</b>
<b>Annexe 60. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Cinétique de longueur » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>260</b>
<b>Annexe 61. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Cinétique de nombre de feuilles » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>262</b>
<b>Annexe 62. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Surface foliaire totale » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>265</b>
<b>Annexe 63. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Longueur aérienne, racinaire et totale » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>265</b>
<b>Annexe 64. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Poids frais aérien, racinaire et totale » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>266</b>
<b>Annexe 65. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Poids sec aérien, racinaire et totale » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>267</b>
<b>Annexe 66. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Teneur relative en eau RWC » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>268</b>

<b>Annexe 67. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Taux de déperdition d'eau RWL » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>268</b>
<b>Annexe 68. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Matière sèche MS » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>269</b>
<b>Annexe 69. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Déficit hydrique de saturation DHS » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>271</b>
<b>Annexe 70. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Chlorophylle » du soja sous l'effet du l'huile de moteur.....</b>	<b>271</b>
<b>Annexe 71. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Protéines totales » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>272</b>
<b>Annexe 72. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Sucres solubles totaux » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>273</b>
<b>Annexe 73. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Proline » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>274</b>
<b>Annexe 74. Traitements statistiques des résultats du paramètre « Polyphénols totaux » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>276</b>
<b>Annexe 75. Traitements statistiques des résultats du paramètre « flavonoïdes » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>277</b>
<b>Annexe 76. Traitements statistiques des résultats du paramètre « l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.....</b>	<b>278</b>

## Liste des abréviations

- ♣ **AA** : Acides aminés
- ♣ **ADN** : Acide désoxyribonucléique
- ♣ **Al** : Aluminium
- ♣ **AS** : Argileux sableux
- ♣ **B** : Bore
- ♣ **C** : Carbone
- ♣ **C.M** : Carré moyenne
- ♣ **CaCO<sub>3</sub>** : Carbonate de calcium
- ♣ **CE** : Conductivité électrique
- ♣ **CEC** : Capacité d'échange cationique
- ♣ **CR** : Capacité de Rétention
- ♣ **DDL** : Degré de liberté
- ♣ **DHS** : Déficit hydrique de saturation
- ♣ **DO** : Densité optique
- ♣ **DPPH** : 2,2-diphényl-2-picryl-hydrazyle
- ♣ **ds/m** : DeciSiemens par mètre
- ♣ **EAG** : Equivalent en acide gallique
- ♣ **EQ** : Equivalent en quercétine
- ♣ **ERO<sub>s</sub>** : Espèces réactives de l'oxygène
- ♣ **F** : Test de Fisher
- ♣ **G** : Gasoil
- ♣ **H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : Peroxyde d'hydrogène
- ♣ **HAP** : Hydrocarbures aromatiques polycycliques
- ♣ **HC** : Hydrocarbures
- ♣ **HCP** : Hydrocarbures pétroliers
- ♣ **HM** : Huile de moteur usée
- ♣ **ITGC** : Institut Technique des Grandes Cultures
- ♣ **KJ** : Kilojoule
- ♣ **K<sub>ow</sub>** : Water Partition Coefficient
- ♣ **Log** : Logarithme

- ♣ **M** : Mole
- ♣ **MDG** : Mean Daily Germination
- ♣ **meq** : Milliéquivalent
- ♣ **MF** : Matière fraîche
- ♣ **MO** : Matière organique
- ♣ **MS** : Matière sèche
- ♣ **NS** : Non significatif
- ♣ **P** : Probabilité
- ♣ **pH** : Potentiel d'Hydrogène
- ♣ **qx/ha** : Quintaux par hectare
- ♣ **RAGT** : Rouergue Auvergne Gévaudan Tarnais
- ♣ **RWC** : Relative Water Content
- ♣ **RWL** : Relative water loss
- ♣ **S** : Significatif
- ♣ **SCE** : Somme des carrés des écarts
- ♣ **T° eb** : Température d'ébullition
- ♣ **t<sub>50</sub>** : Temps moyen correspondant à la germination de 50% de graines
- ♣ **Tem** : Témoin
- ♣ **UV** : Ultra-violet
- ♣ **V/V** : Volume par volume
- ♣ **W** : Watt

## Table des matières

<i>Dédicaces</i> .....	I
<i>Remerciement</i> .....	II
Résumé.....	III
Abstract .....	IV
المخلص .....	V
Liste des tableaux.....	VI
Liste des figures.....	VII
Liste des annexes.....	XI
Liste des abréviations .....	XV
Introduction.....	1
<b><i>PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE</i></b> .....	<b>3</b>
Chapitre I : Les hydrocarbures .....	4
Introduction.....	4
1. Hydrocarbures pétroliers .....	5
1.1. Classification des hydrocarbures .....	5
1.1.1. Hydrocarbures aliphatiques .....	5
1.1.1.1. Hydrocarbures aliphatiques saturés .....	5
a. Les alcanes linéaires .....	5
b. Les alcanes ramifiés .....	5
c. Les cycloalcanes .....	5
1.1.1.2. Hydrocarbures aliphatiques insaturés.....	6
a. Les oléfines.....	6
b. Les acétyléniques.....	6
1.1.2. Hydrocarbures aromatiques .....	6
a. Les hydrocarbures mono-aromatiques.....	6
b. Les hydrocarbures poly-aromatiques.....	6
1.1.3. Composés polaires .....	6
1.1.4. Asphaltènes.....	7
1.2. Sources émettrices d'hydrocarbures .....	7
1.2.1. Sources naturelles.....	7
1.2.2. Sources anthropiques.....	7
1.3. Devenir des hydrocarbures dans l'environnement .....	8

1.3.1.	Evaporation .....	8
1.3.2.	Solubilisation .....	8
1.3.3.	Emulsification .....	8
1.3.4.	Sédimentation .....	9
1.3.5.	Photo-oxydation .....	9
1.3.6.	Biodégradation .....	9
1.4.	Toxicité des hydrocarbures pour l'homme .....	9
1.5.	Pollution des sols par les hydrocarbures .....	10
1.6.	Caractéristiques physico-chimiques influençant le comportement des hydrocarbures dans le milieu souterrain .....	10
1.6.1.	Densité .....	10
1.6.2.	Viscosité .....	11
1.6.3.	Solubilité .....	11
1.6.4.	Volatilité .....	11
1.7.	Hydrocarbures utilisés .....	12
1.7.1.	Gasoil .....	12
1.7.2.	Huile de moteur .....	13
1.8.	Impacts des hydrocarbures sur l'environnement .....	14
1.8.1.	Action sur les sols .....	14
1.8.2.	Action sur la microflore .....	15
1.8.3.	Action sur la flore .....	15
1.8.4.	Action sur la chaine alimentaire .....	15
<b>Chapitre II : La réhabilitation des sols pollués .....</b>		<b>16</b>
<b>Introduction .....</b>		<b>16</b>
1.	Méthodes de réhabilitation .....	17
1.1.	Techniques physiques .....	17
1.1.1.	Procédés physiques par piégeage .....	17
a.	Confinement .....	17
b.	Solidification-stabilisation .....	17
1.1.2.	Procédés par évacuation .....	18
a.	Excavation .....	18
b.	Pompage et traitement .....	18
1.1.3.	Technique du pompage-écrémage .....	18
1.2.	Techniques chimiques .....	19
1.2.1.	Méthodes de mobilisation et d'extraction .....	19

1.2.2. Réactions chimiques.....	20
1.3. Techniques thermiques.....	20
1.4. Méthodes biologiques.....	21
1.4.1. Bioremédiation .....	21
1.4.1.1. Traitement biologique par aération de sol (bioventing) .....	21
1.4.1.2. Biodégradation .....	22
1.4.1.3. Bioslurry .....	22
1.4.1.4. Compostage.....	22
1.4.1.5. Biorestauration.....	22
1.4.2. Phytoremédiation.....	22
1.4.2.1. Rôle des plantes .....	23
1.4.2.2. Techniques de phytoremédiation .....	23
1.4.2.2.1. Phytodégradation .....	24
1.4.2.2.2. Rhizodégradation .....	25
1.4.2.2.3. Rhizofiltration .....	25
1.4.2.2.4. Phytostabilisation .....	26
1.4.2.2.5. Phytoextraction .....	26
1.4.2.2.6. Phytovolatilisation.....	27
<b><i>PARTIE PRATIQUE</i></b> .....	29
Chapitre III : Matériel et méthodes.....	30
1. Localisation géographique du site expérimental.....	30
2. Matériel végétal.....	30
2.1. L'orge <i>Hordeum vulgare</i> L .....	30
2.1.1. Classification .....	31
2.1.2. Variété.....	31
2.2. Le soja <i>Glycine max</i> L.....	32
2.2.1. Classification .....	32
2.2.2. Variété.....	32
3. Pré-germination .....	33
4. Substrat de culture (le sol).....	33
4.1. Analyses physicochimiques et biologiques du sol utilisé.....	33
4.1.1. Texture (granulométrie) .....	33
4.1.2. Potentiel d'hydrogène (pHeau) .....	33
4.1.3. Conductivité électrique (CE).....	33
4.1.4. Capacité d'échange cationique (CEC).....	33

4.1.5. Carbonate de calcium (CaCO <sub>3</sub> ) .....	34
4.1.6. Cations échangeables .....	34
4.1.7. Matière organique (MO) .....	34
5. Carburants utilisés (dérivés pétroliers) .....	34
6. Pollution artificiel du sol.....	34
7. Germination .....	34
7.1. Taux de germination final .....	35
7.2. Cinétique de germination .....	35
7.3. Vitesse de germination.....	35
7.4. Moyenne journalière de germination (MDG = Mean Daily Germination).....	35
8. Conduite de l'expérience .....	35
8.1. Dispositif expérimental .....	35
8.2. Semis et conduite de l'expérience.....	37
8.3. Arrosage.....	37
9. La récolte des plantes.....	37
10. Paramètres étudiés .....	38
10.1. Paramètres morphologiques et biométriques.....	38
10.1.1. Cinétique de longueur.....	38
10.1.2. Cinétique de nombre de feuilles .....	38
10.1.3. Cinétique de nombre de talles (pour l'orge).....	38
10.1.4. Surface foliaire .....	38
10.1.5. Longueur aérienne, racinaire et totale .....	39
10.1.6. Poids aérien, racinaire et totale.....	39
10.1.6.1. Poids frais aérien, racinaire et totale .....	39
10.1.6.2. Poids sec aérien, racinaire et totale.....	39
10.1.7. Nombre de fruits (ou épis) .....	39
10.2. Paramètres physiologiques .....	39
10.2.1. Teneur relative en eau TRE (Relative Water Content RWC) .....	39
10.2.2. Taux de déperdition d'eau (relative water loss) RWL .....	40
10.2.3. Matière sèche (MS) .....	40
10.2.4. Déficit hydrique de saturation (DHS) .....	41
10.3. Paramètres biochimiques .....	41
10.3.1. Teneurs en pigments chlorophylliens .....	41
10.3.2. Teneurs en protéines totales .....	42
10.3.2.1. Principe.....	42

10.3.2.2. Protocole .....	43
10.3.3. Teneurs en sucres solubles .....	43
10.3.3.1. Principe .....	43
10.3.3.2. Protocole .....	44
10.3.4. Teneurs en proline .....	45
10.3.4.1. Protocole .....	45
10.3.5. Teneurs en antioxydants .....	46
10.3.5.1. Teneurs en polyphénols totaux .....	46
10.3.5.1.1. Principe .....	46
10.3.5.1.2. Mode opératoire .....	46
10.3.5.2. Teneurs en flavonoïdes .....	47
10.3.5.2.1. Principe .....	47
10.3.5.2.2. Mode opératoire .....	48
10.3.5.3. Test de l'activité antioxydante par l'effet scavenger du radical DPPH .....	48
10.3.5.3.1. Principe .....	48
10.3.5.3.2. Mode opératoire .....	49
11. Analyses statistiques .....	49
Chapitre IV : Résultats et Discussion .....	50
1. Pré-germination .....	50
2. Caractérisation physicochimique et biologique du substrat de culture (sol) .....	50
2.1. Caractéristiques physiques (Granulométrie) .....	50
2.2. Caractéristiques chimiques .....	51
2.3. Caractéristiques biologiques (MO) .....	51
3. Germination .....	52
3.1. Effet du gasoil sur le taux de germination final de l'orge .....	52
3.2. Effet de l'huile de moteur sur le taux de germination final de l'orge .....	52
3.3. Effet du gasoil sur le taux de germination final du soja .....	53
3.4. Effet de l'huile de moteur sur le taux de germination final du soja .....	54
3.5. Effet du gasoil sur la cinétique de germination de l'orge .....	54
3.6. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de germination de l'orge .....	55
3.7. Effet du gasoil sur la cinétique de germination du soja .....	56
3.8. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de germination du soja .....	56
3.9. Effet du gasoil sur la vitesse de germination de l'orge .....	57
3.10. Effet de l'huile de moteur sur la vitesse de germination de l'orge .....	58
3.11. Effet du gasoil sur la vitesse de germination du soja .....	58

3.12. Effet de l'huile de moteur sur la vitesse de germination du soja .....	59
3.13. Effet du gasoil sur la moyenne journalière de germination (MDG) de l'orge .....	59
3.14. Effet de l'huile de moteur sur la moyenne journalière de germination (MDG) de l'orge .....	60
3.15. Effet du gasoil sur la moyenne journalière de germination (MDG) du soja .....	61
3.16. Effet de l'huile de moteur sur la moyenne journalière de germination (MDG) du soja .....	61
3.17. Discussion .....	62
4. Paramètres morphobiométriques .....	66
4.1. Effet du gasoil sur la cinétique de la longueur de l'orge .....	66
4.2. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de la longueur de l'orge.....	67
4.3. Effet du gasoil sur la cinétique de la longueur du soja .....	68
4.4. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de la longueur du soja .....	69
4.5. Effet du gasoil sur la cinétique de nombre de feuilles de l'orge.....	70
4.6. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de nombre de feuilles de l'orge .....	70
4.7. Effet du gasoil sur la cinétique de nombre de feuilles du soja .....	71
4.8. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de nombre de feuilles du soja.....	72
4.9. Effet du gasoil sur la cinétique de nombre de talles de l'orge.....	73
4.10. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de nombre de talles de l'orge .....	74
4.11. Effet du gasoil sur la surface foliaire totale de l'orge .....	74
4.12. Effet de l'huile de moteur sur la surface foliaire totale de l'orge .....	75
4.13. Effet du gasoil sur la surface foliaire totale du soja.....	75
4.14. Effet de l'huile de moteur sur la surface foliaire totale du soja .....	76
4.15. Effet du gasoil sur la longueur aérienne, racinaire et totale de l'orge.....	77
4.16. Effet de l'huile de moteur sur la longueur aérienne, racinaire et totale de l'orge .....	78
4.17. Effet du gasoil sur la longueur aérienne, racinaire et totale du soja .....	79
4.18. Effet de l'huile de moteur sur la longueur aérienne, racinaire et totale du soja .....	80
4.19. Effet du gasoil sur le poids frais aérien, racinaire et totale de l'orge .....	81
4.20. Effet de l'huile de moteur sur le poids frais aérien, racinaire et totale de l'orge .....	82
4.21. Effet du gasoil sur le poids frais aérien, racinaire et totale du soja.....	82
4.22. Effet de l'huile de moteur sur le poids frais aérien, racinaire et totale du soja .....	83
4.23. Effet du gasoil sur le poids sec aérien, racinaire et totale de l'orge.....	85
4.24. Effet de l'huile de moteur sur le poids sec aérien, racinaire et totale de l'orge .....	86
4.25. Effet du gasoil sur le poids sec aérien, racinaire et totale du soja .....	87
4.26. Effet de l'huile de moteur sur le poids sec aérien, racinaire et totale du soja.....	88

4.27. Effet du gasoil sur le nombre d'épis de l'orge.....	89
4.28. Effet de l'huile de moteur sur le nombre d'épis de l'orge.....	89
4.29. Effet du gasoil sur le nombre de fruits (cornes) du soja.....	90
4.30. Effet de l'huile de moteur le nombre de fruits du soja.....	90
4.31. Discussion.....	91
5. Paramètres physiologiques.....	97
5.1. Effet du gasoil sur la teneur relative en eau TRE (Relative Water Content RWC) de l'orge.....	97
5.2. Effet de l'huile de moteur sur la teneur relative en eau TRE (Relative Water Content RWC) de l'orge.....	97
5.3. Effet du gasoil sur la teneur relative en eau TRE (Relative Water Content RWC) du soja.....	98
5.4. Effet de l'huile de moteur sur la teneur relative en eau TRE (Relative Water Content RWC) du soja.....	99
5.5. Effet du gasoil sur le taux de déperdition d'eau (relative water loss) RWL de l'orge ...	99
5.6. Effet de l'huile de moteur sur le taux de déperdition d'eau (relative water loss) RWL de l'orge.....	100
5.7. Effet du gasoil sur le taux de déperdition d'eau (relative water loss) RWL du soja ....	101
5.8. Effet de l'huile de moteur sur le taux de déperdition d'eau (relative water loss) RWL du soja.....	102
5.9. Effet du gasoil sur la matière sèche (MS) de l'orge.....	103
5.10. Effet de l'huile de moteur sur la matière sèche (MS) de l'orge.....	104
5.11. Effet du gasoil sur la matière sèche (MS) du soja.....	105
5.12. Effet de l'huile de moteur sur la matière sèche (MS) du soja.....	106
5.13. Effet du gasoil sur le déficit hydrique de saturation (DHS) de l'orge.....	107
5.14. Effet de l'huile de moteur sur le déficit hydrique de saturation (DHS) de l'orge.....	108
5.15. Effet du gasoil sur le déficit hydrique de saturation (DHS) du soja.....	108
5.16. Effet de l'huile de moteur sur le déficit hydrique de saturation (DHS) du soja.....	109
5.17. Discussion.....	110
6. Paramètres biochimiques.....	114
6.1. Effet du gasoil sur les teneurs en pigments chlorophylliens de l'orge.....	114
6.2. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en pigments chlorophylliens de l'orge.....	115
6.3. Effet du gasoil sur les teneurs en pigments chlorophylliens du soja.....	115
6.4. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en pigments chlorophylliens du soja.....	116
6.5. Effet du gasoil sur les teneurs en protéines totales de l'orge.....	117
6.6. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en protéines totales de l'orge.....	118

6.7. Effet du gasoil sur les teneurs en protéines totales du soja .....	119
6.8. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en protéines totales du soja .....	119
6.9. Effet du gasoil sur les teneurs en sucres solubles totaux de l'orge.....	120
6.10. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en sucres solubles totaux de l'orge.....	121
6.11. Effet du gasoil sur les teneurs en sucres solubles totaux du soja .....	122
6.12. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en sucres solubles totaux du soja .....	123
6.13. Effet du gasoil sur les teneurs en proline de l'orge .....	123
6.14. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en proline de l'orge .....	124
6.15. Effet du gasoil sur les teneurs en proline du soja.....	125
6.16. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en proline du soja .....	126
6.17. Discussion .....	126
7. Teneurs en antioxydants.....	137
7.1. Effet du gasoil sur les teneurs en polyphénols totaux de l'orge .....	137
7.2. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en polyphénols totaux de l'orge .....	138
7.3. Effet du gasoil sur les teneurs en polyphénols totaux du soja .....	139
7.4. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en polyphénols totaux du soja .....	139
7.5. Effet du gasoil sur les teneurs en flavonoïdes de l'orge.....	140
7.6. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en flavonoïdes de l'orge .....	141
7.7. Effet du gasoil sur les teneurs en flavonoïdes du soja.....	142
7.8. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en flavonoïdes du soja .....	143
7.9. Effet du gasoil sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH de l'orge.....	143
7.10. Effet de l'huile de moteur sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH de l'orge .....	144
7.11. Effet du gasoil sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH du soja .....	145
7.12. Effet de l'huile de moteur sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH du soja .....	145
7.13. Discussion .....	146
Conclusion .....	150
Références Bibliographiques.....	153
Annexes.....	177

## **Introduction**

La contamination de l'environnement suite à l'utilisation des divers polluants (qui font une nuisance ou un risque pérenne) par les humains est devenue un problème mondial touchant à la fois les pays développés et les pays en développement (**Khan., 2005**). Parmi ces phénomènes, la pollution par les hydrocarbures a une importance de plus en plus grande sur les plans environnementaux, sanitaires et économiques. Cette pollution peut avoir un impact sur la santé humaine et l'équilibre des écosystèmes aussi bien marins que continentaux (**Mbonigaba et al., 2009**). En effet, de nombreux dégâts réels ont été constatés lors d'accidents (fuites de pétrole), de rejets ou de déversements volontaires, pouvant entraîner des catastrophes écologiques irréversibles (**Soltani, 2004**).

L'augmentation constante de l'utilisation des hydrocarbures a endommagé le sol qui est soumis à un épuisement continu sous plusieurs formes telles que l'érosion du sol, l'épuisement des nutriments (**Odat et Alshammari, 2011**) et la diminution du pH du sol et de la teneur en quelques sels minéraux (**Chaineau et al., 1996**), ce qui présente un danger lors d'un contact direct avec l'homme ou l'animal ou indirect par la chaîne alimentaire, par le phénomène de la bioaccumulation avec le piégeage par les végétaux et les animaux des polluants ou de leur produits de dégradation jusqu'à des teneurs atteignant les seuils de toxicité (**Scriban, 1999**). Le contact entre le produit pétrolier et la surface foliaire des végétaux va entraîner des dégâts qui vont dépendre de la nature du produit lui-même et de la dose appliquée (**Bergue et Mérienne, 1986**).

Les hydrocarbures sont très répandus dans l'environnement, leur principale source est le pétrole, mais ils sont aussi formés par des procédés biologiques ou de synthèse (**Weisman, 1998**). Ils entraînent une perturbation dans la teneur organique des sols (**Wyszkowski et Ziolkowska, 2008**) et donc peuvent endommager de façon permanente leurs caractéristiques (ce qui peut aboutir à des sols peu fertiles). Par ailleurs, le problème majeur rencontré dans les sols pollués par les produits pétroliers est l'atteinte de la nappe phréatique affectant ainsi la qualité des eaux (**Scow, 2003**). Par conséquent, un déséquilibre nutritionnel peut avoir eu lieu dans les semis aux sols contaminés, ce dernier peut rendre défavorable à la survie et le développement de la plante entraînant un retard dans la germination, une induction d'une chlorose précoce, une réduction dans le tir et la longueur des racines (**Minai-Tehrani et al., 2008/2012**) et même une très faible production de biomasse végétale (**Edema et al., 2009**).

Il est donc nécessaire de trouver des outils capables d'aborder de manière aussi globale et intégrée que possible ces problèmes, dans le souci d'améliorer les connaissances et le

contrôle des phénomènes mis en cause. La perception de ces problèmes environnementaux a entraîné de nombreux efforts pour nettoyer l'environnement (**Leahy et Colwell., 1990**). Un de ces efforts est la phytoremédiation qui est une technique nouvelle, respectueuse de l'environnement et promotrice pour éliminer de nombreux contaminants tels que les hydrocarbures (**Luepromchai et al., 2007**).

L'action des végétaux sur la dégradation des hydrocarbures peut se faire de manière directe ou indirecte. En effet, les racines produisent des enzymes de type peroxydase, capables d'oxyder les hydrocarbures (**Jones et al., 2004**). Le transfert des polluants organiques aux parties aériennes de la plante représente un enjeu important pour la sécurité de l'alimentation humaine et animale (**Gao et Collins, 2009**). Les critères pour mesurer l'efficacité d'une plante à dépolluer des sols contaminés sont sa capacité à croître sur le sol contaminé et sa capacité à absorber de grandes quantités de polluants voire à les dégrader.

Les graminées sont classifiées parmi les plantes ayant une bonne accumulation des oligo-éléments (**Kuboi et al., 1986**) et peuvent éliminer efficacement les hydrocarbures présents dans les sols contaminés, sans supplémentation en nutriments (**Gaskin et Bentham, 2010**). Dans la majorité des sols contaminés par les produits hydrocarbonés, le rapport C/N (carbone sur azote) est souvent déséquilibré puisqu'il y a un enrichissement en carbone total et une diminution de l'azote (**Morot, 1997**). De ce fait, l'activité symbiotique des légumineuses est plus qu'indispensable pour assurer leur croissance. Dans l'appui de cette affirmation, les légumineuses se sont révélées être les plus abondantes dans les sites contaminés par les hydrocarbures pétroliers (**Adam et Duncan, 2003**).

Dans ce cadre, notre contribution se situe à ce niveau de problématique, c'est dans ce domaine que s'inscrit l'objectif de ce travail où on a choisi d'étudier les effets de quelques doses des deux polluants hydrocarbonés « le diesel et l'huile de moteur usée » sur quelques plantes graminées (l'orge *Hordeum vulgare*) et légumineuses (le soja *Glycine max*) dans le sol et de suivre ces manifestations sur plusieurs paramètres germinatives, morpho-biométriques, physiologiques et biochimiques incluant l'activité antioxydante.

*PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE*

## Chapitre I : Les hydrocarbures

### Introduction

Le pétrole brut, du latin « Pétra oléum » qui veut dire l'huile, est une roche liquide formée massivement lors des périodes paléontologiques passées, par un processus biogéochimique de fossilisation qui a transformé des matières organiques mortes d'origine encore discutée mais considérées dérivées du plancton marin (**Ramade, 2003**).

Selon **Wauquier et al., (1994)**, c'est un mélange très complexe d'hydrocarbures qui se présente généralement sous forme liquide plus ou moins visqueux. Il contient essentiellement des atomes de carbone et d'hydrogène. D'autres éléments comme le soufre, l'azote, l'oxygène et certains métaux existent également en faibles concentrations ou à l'état de traces dans les fractions pétroliers, surtout les plus lourdes (**Guibet, 1997**).

Les pétroles bruts ont une couleur va de l'ombre clair au noir opaque (brut asphalténique), ils peuvent être d'un vert fluorescent (paraffiniques) ou bleu (naphténique). La présence de composés sulfureux leur donne une odeur déplaisante. Ils sont hautement inflammables (point d'éclair inférieur à 30°C), et leur viscosité varie en fonction de leur teneur en fractions légères. On les trouve en grandes quantités dans les gisements enfouis sous la surface des continents ou au fond des mers (**Salle et Debyser, 1976**).

Il y a plusieurs millions d'années, les restes de nombreux organismes marins sont déposés au fond des océans. Avec le temps, ils sont accumulés et mélangés à la boue et au limon pour former une couche de sédiments riches en matières organiques (nommée le kérogène). Ce dernier est concentré dans la roche mère sous forme de petits filets, graduellement, à cause des mouvements des plaques tectoniques qui forment la croûte terrestre, et les sédiments s'enlisent dans le sol. Avec l'effet de la forte compression dans les profondeurs, ces strates de sédiments sont alors métamorphosées en roche. Le pétrole brut se forme lorsque ces couches de sédiments, qui épaississent avec le temps, subissent une augmentation de la température causée par les apports de chaleur issus de l'énergie interne de la terre (chaleur géothermique). Suite à ces pressions et à l'élévation de la température, les matières organiques se décomposent en substances plus simples (les hydrocarbures). Le pétrole brut est relativement léger. Il peut donc refaire lentement le chemin inverse de celui que les couches de sédiments ont parcouru à travers les couches géologiques poreuses. Ainsi, il a tendance à remonter de façon naturelle vers la surface de la terre. Quand il rencontre des

roches imperméables, il se forme une accumulation sous celles-ci. C'est d'ailleurs ce qui a donné le pétrole (Salle et Debyser, 1976).

## 1. Hydrocarbures pétroliers

Les hydrocarbures sont des composés organiques contenant exclusivement des atomes de carbones (C) et d'hydrogènes (H) (Franaennec *et al.*, 1998). Le terme « hydrocarbure pétrolier » (HCP) est un terme générique qui désigne les mélanges de composés organiques présents dans des matières géologiques comme l'huile, le bitume et le charbon ou les dérivés de ces matières (Lefebvre, 1978).

### 1.1. Classification des hydrocarbures

Les hydrocarbures constituent la fraction la plus importante d'un brut pétrolier, ils représentent entre 65 et 95 % de la plupart des pétroles bruts (Neff, 1979). Ces hydrocarbures peuvent être classés en différents familles selon leur origine géographique et géologique (Tissot et Welte, 1984).

#### 1.1.1. Hydrocarbures aliphatiques

##### 1.1.1.1. Hydrocarbures aliphatiques saturés

Ce sont des composés à chaînes ouvertes linéaires ou ramifiées. Leur nom vient du grec aleiphar qui signifie huile ou graisse. Cette nomenclature vient du fait que les graisses sont des composés à chaîne ouverte (Lefebvre, 1978). Parmi lesquels, on distingue :

**a. Les alcanes linéaires :** Les alcanes linéaires (*n*-alcanes,  $C_nH_{2n+2}$ ), dont la longueur de chaîne varie de 7 à 40 atomes de carbone, constituent une des classes les plus abondantes car ils constituent 10 à 40 % des hydrocarbures totaux d'un brut pétrolier. Ils sont obtenus par distillation destructive de substances naturelles complexes, telles que la houille, et sont formés en grande quantité par vapocraquage au cours du raffinage du pétrole (Soltani, 2004).

**b. Les alcanes ramifiés :** Les plus abondants sont les iso-alcanes (groupement méthyle en position 02), les autres composés ramifiés antéiso (groupement méthyle en position 03) ou polyramifiés tels que les isoprénoïdes (exemple : pristane, phytane) sont beaucoup moins nombreux. Ces composés se trouvent dans le pétrole brut avec des proportions sensiblement égales à celles des *n*-alcanes (Soltani, 2004).

**c. Les cycloalcanes :** Les cycloalcanes renferment des composés cycliques (à 5 ou 6 atomes de carbone) saturés et le plus souvent substitués. Quelques dérivés polycycliques sont aussi présents et certains d'entre eux tels les stéranes et les triterpanes sont caractéristiques d'un pétrole brut. Cette famille peut représenter entre 30 et 50 % des hydrocarbures totaux d'un pétrole brut (Soltani, 2004).

### 1.1.1.2. Hydrocarbures aliphatiques insaturés

Ils se répartissent, eux aussi, en deux groupes distincts :

**a. Les oléfines :** De formule générale  $C_nH_{2n}$ , avec une ou plusieurs doubles liaisons, appelées, dans la nomenclature officielle, alcènes ou cyclènes (représentées sous forme de chaînes ou de cycles) (Lefebvre, 1978).

**b. Les acétyléniques :** Ou alcynes, de formule générale  $C_nH_{2n-2}$ , caractérisés par l'existence d'au moins une triple liaison. Dans cette famille, les composés cycliques ou bien les cyclynes, sont très rares (Lefebvre, 1978).

### 1.1.2. Hydrocarbures aromatiques

Ce sont des composés auxquels viennent s'adjoindre du soufre, des traces de composés oxygénés et azotés et quelques métaux (Colin, 2000). Ils contiennent un ou plusieurs cycles insaturés à six atomes de carbone, comme celui constituant le benzène  $C_6H_6$  (Guibet, 1997). Les hydrocarbures aromatiques sont d'excellents solvants pour les laques et les peintures, ils se distinguent des autres par un rapport C/H très élevé et sont constitués d'un cycle hexagonal de carbone, chacun étant lié à un unique atome d'hydrogène (Wauquier, 1994). En général, les hydrocarbures aromatiques sont moins abondants que les alcanes, et ne représentent que 10 à 30 % des hydrocarbures totaux d'un brut pétrolier (Soltani, 2004).

**a. Les hydrocarbures mono-aromatiques :** Le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène (BTEX) sont des composés mono-aromatiques volatiles, inflammables et ayant des propriétés toxiques. Ils sont notamment présents dans les sols. Cela résulte des fuites de réservoirs de carburants, de déversements et d'effluents des raffineries de pétrole (Cao *et al.*, 2009). Provenant de la dégradation de la lignine et du pétrole brut, les hydrocarbures mono-aromatiques sont aussi d'origine pétrolière et pétrochimique (Negraia, 2010).

**b. Les hydrocarbures poly-aromatiques :** Composés d'au moins deux cycles aromatiques condensés de type benzène, les hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP sont issus de la combustion incomplète de matières carbonées (Técher, 2011). Souvent associés à des hydrocarbures BTEX ou alcanes, les hydrocarbures poly-aromatiques sont difficilement dégradables. Les hydrocarbures aromatiques sont des contaminants hydrophobes et donc faiblement biodisponibles. Ainsi, ils résistent à la biodégradation. En revanche, la biodégradation des hydrocarbures poly-aromatiques augmente avec la température (Cao *et al.*, 2009).

### 1.1.3. Composés polaires

Cette fraction correspond à des molécules hétérocycliques, telles que :

- Les composés oxygénés: phénols, acides carboxyliques, alcools, aldéhydes, ...
- Les composés soufrés: mercaptans, sulfures, disulfures, ...
- Les composés azotés: pyridines, quinoléines, ...

Les dérivés soufrés sont dans la plupart des cas plus abondants que les composés oxygénés ou azotés, les métaux sont également présents, mais à l'état de traces. Les plus abondants sont le vanadium et le nickel, mais aussi le fer, le sodium, le cuivre, et l'uranium ont également été détectés (**Soltani, 2004**).

#### **1.1.4. Asphaltènes**

Les asphaltènes sont des composés polycycliques de hauts poids moléculaires, contenant des hétéroatomes tels que l'azote, le soufre et l'oxygène. Bien que ces produits soient souvent présents en faible quantité, ils ont une influence considérable sur les propriétés physico-chimiques du brut. Leur capacité à flocculer, à s'adsorber sur des surfaces et à former des dépôts solides, est à l'origine de nombreux problèmes aussi bien du point de vue exploitation des gisements, que du raffinage (**Boukherissa, 2008**). Ils sont constitués d'une accumulation de feuillets aromatiques condensés très riches en carbone relié par des chaînes saturées. Ces feuilles sont disposées en empilement qui peut acquérir un débit d'organisation graphique. De ce fait, les asphaltènes se prêtent à des études structurales par diffraction aux rayons (X). Isolés, ils forment des solides noirs et brillants insolubles dans les alcanes légers comme déjà mentionné (**Tissot et Welte, 1984**).

#### **1.2. Sources émettrices d'hydrocarbures**

Peu d'informations sont disponibles sur les sources génératrices des hydrocarbures, vu la multitude de leur utilisation (usages militaires ou domestiques) mais aussi avec le transport ou les stockages et les situations accidentelles (**Colin, 2000**). Deux principales sources émettrices d'hydrocarbures sont généralement distinguées (**Gasperi, 2006**).

**1.2.1. Sources naturelles :** Les hydrocarbures sont naturellement produits par les végétaux, essentiellement les hydrocarbures aliphatiques, ils se trouvent, en effet, dans les cires des végétaux supérieurs, les résines et les déchets microbiens. Les hydrocarbures issus des végétaux terrestres et marins restent à l'état de traces, contrairement aux feux de forêts et de prairies qui sont considérés comme l'apport naturel le plus important, avec les éruptions volcaniques (**Gasperi, 2006**).

**1.2.2. Sources anthropiques :** Les sources anthropiques, correspondent à divers processus, tels que les exploitations des forages, le raffinage et les combustions à haute

température. La circulation automobile constitue aussi la principale source de pollution par les hydrocarbures. Les véhicules émettent des gaz d'échappement provenant de la combustion incomplète des carburants, et sont aussi à l'origine de déversement de produits variés tels que les carburants, les huiles lubrifiantes ou les débris de pneumatiques (**Gasperi, 2006**). Selon **Colin (2000)**, les principales causes de pollution par les hydrocarbures sont liées au transport et au stockage des produits pétroliers (essence, gasoil, carburants pour l'aviation, fuel, huiles de moteurs ...) ainsi qu'à diverses activités industrielles.

### 1.3. Devenir des hydrocarbures dans l'environnement

C'est par des processus physiques, chimiques et biologiques qu'un hydrocarbure va pouvoir être déplacé, transformé ou éliminé, après avoir été réparti dans l'environnement. Parmi les différentes altérations que peut subir un hydrocarbure, on cite les facteurs environnementaux qui sont :

**1.3.1. Evaporation** : L'évaporation est un phénomène qui touche les fractions de faible poids moléculaire et dépend des conditions atmosphériques (vent, vagues, température, ...). Les hydrocarbures les plus légers, ayant de 4 à 12 atomes de carbone ( $T^{\circ} \text{eb} < 270 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), qui représentent généralement près de 50 % des hydrocarbures totaux d'un brut moyen, sont éliminés rapidement dès les premiers jours, pouvant conduire à une pollution de l'atmosphère. La plupart des pétroles bruts déversés perdent jusqu'à 40% de leur volume dans les premières 48 heures alors que les fuels moins lourds, qui contiennent peu de composés volatils, s'évaporent très peu, même après plusieurs jours (**Soltani, 2004**).

**1.3.2. Solubilisation** : La solubilité des hydrocarbures dans l'eau est très faible. Bien que les hydrocarbures soient des composés insolubles dans l'eau, certains d'entre eux peuvent partiellement se dissoudre (hydrocarbures aromatiques et hydrocarbures à faible nombre de carbone) (**Bertrand et Mille, 1989**). Un hydrocarbure est d'autant plus soluble que sa masse moléculaire est faible et que sa polarité est élevée. Il est important de noter que ces hydrocarbures solubles sont parmi les plus dangereux pour l'environnement. Ils sont difficiles à éliminer et sont adsorbés par la faune et la flore (**Goswani et Singh, 1991 ; Bouchez, 1995**).

**1.3.3. Emulsification** : Deux types d'émulsions peuvent se former :

- L'huile dans l'eau : si la surface de l'eau est turbulente, les hydrocarbures peuvent se fragmenter en gouttelettes qui ensuite restent en suspension dans l'eau. Ces émulsions facilitent l'élimination des hydrocarbures.

- L'eau dans l'huile appelée « mousse chocolat » : Ce type d'émulsion, que l'on qualifie également d'émulsion inverse, peut se produire en l'espace de quelques heures, et contient jusqu'à 90 % d'eau. Le résultat est une augmentation de la densité et de la viscosité, aussi que des volumes à traiter ou à enlever. Les émulsions eau dans l'huile sont constituées par des hydrocarbures de haut poids moléculaire. Ces émulsions difficilement dégradables sont les précurseurs des résidus goudronneux retrouvés sur les plages (**Soltani, 2004**).

**1.3.4. Sédimentation :** C'est le passage du pétrole de la surface vers le fond. Ce phénomène concerne les résidus goudronneux constitués de la fraction pétrolière la plus lourde et dont la densité est supérieure à celle de l'eau de mer. La sédimentation conduit à la constitution d'agrégats de haute densité difficilement dégradables par voie naturelle (**Vandecastel, 2005**).

**1.3.5. Photo-oxydation :** La photo-oxydation est observée au niveau de la surface de l'eau ou de l'air (oxygène). Pour ça, la lumière (radiations solaires) est présente pour la transformation des hydrocarbures. Etant donné la réduction rapide de la diffusion de la lumière dans les couches épaisses d'hydrocarbures, la photo-oxydation affecte essentiellement les couches minces ou la surface des couches épaisses d'hydrocarbures. L'efficacité de ce phénomène dépend de la nature des hydrocarbures et de la présence de composés non hydrocarbonés (**Bertrand et Mille, 1989**).

**1.3.6. Biodégradation :** La biodégradation est le processus naturel le plus important dans la dépollution de l'environnement (pour les hydrocarbures) . Les microorganismes sont responsables, en particulier les bactéries. Les voies métaboliques d'oxydation des hydrocarbures par les bactéries et les paramètres qui peuvent influencer la biodégradation seront traités plus loin (**Vogel, 2001**).

#### **1.4. Toxicité des hydrocarbures pour l'homme**

La structure moléculaire de certains types d'hydrocarbures les amène à être transformés dans l'organisme en composés extrêmement toxiques, appelés époxydes. Les époxydes réagissent très facilement avec l'ADN, ce qui peut entraîner des mutations génétiques menant parfois au cancer. Certains HAP peuvent également affecter la reproduction ou le développement fœtal. Ces effets d'hydrocarbures ont été démontrés en expérimentation animale, mais le risque existe également pour l'homme (**CIRC, 2008**).

Le benzopyrène est particulièrement toxique sur ce plan, puisque ses effets cancérigènes sont prouvés pour l'homme et qu'on le considère aussi comme mutagène, tératogène et toxique pour le développement. Le centre international de recherche sur le

cancer (CIRC) a réévalué les HAP en 2006 et a classé 15 parmi les substances cancérigènes, probablement ou possiblement cancérigènes pour l'homme (CIRC, 2008).

D'autres HAP sont suspectés d'être potentiellement mutagènes ou cancérigènes, mais ils ne remplissent pas les critères de cancérigénicité pour l'homme. L'autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) répertorie 08 HAP cancérigènes pour l'homme lorsqu'ils sont présents dans les denrées alimentaires. Les HAP sont relativement peu volatiles et peu solubles dans l'eau. Ils ne s'évaporent donc pas aisément des matériaux qui les contiennent, mais parviennent le plus souvent dans l'environnement, liés aux particules issues de l'usure de ces matériaux. L'homme peut les assimiler par trois voies : par voie digestive, en ingérant des aliments qui contiennent des HAP ; par voie respiratoire, en respirant des poussières qui en contiennent ; par voie cutanée, en touchant des matériaux qui en contiennent (EFSA, 2008).

### **1.5. Pollution des sols par les hydrocarbures**

La pollution par les hydrocarbures est due à des rejets, volontaires ou non, de produits pétroliers. Elle relève à la fois de la pollution chimique et de la pollution organique. La pollution par les hydrocarbures légers couramment commercialisés (essence, kérosène, gasoil, solvants) est très fréquente du fait de leur utilisation généralisée. En raison de leur solubilité et de leur biodégradabilité, à l'exception de certains d'entre eux (BTEX), des mélanges de pollution dans les eaux souterraines sont assez étendus et posent souvent des problèmes de toxicité de la microflore et des difficultés dans le captage des eaux. Contrairement aux hydrocarbures lourds, ils ont des viscosités élevées et ils sont peu solubles dans l'eau et peu volatiles donc persistants. Leur présence dans le sol entraîne souvent une diminution de la perméabilité de celui-ci et une réduction de la circulation de l'eau au sein de la matrice (Colin, 2000).

### **1.6. Caractéristiques physico-chimiques influençant le comportement des hydrocarbures dans le milieu souterrain**

D'après Colin (2000), les caractéristiques physiques citées ci-dessous déterminent le mode de gisement de la pollution dans le milieu souterrain.

**1.6.1. Densité :** Elle conditionne le comportement d'un produit déversé dans le sol en phase par rapport à l'eau de la nappe. Plus la densité est plus importante que celle de l'eau, plus le polluant est susceptible de s'accumuler au contact de substratum de l'aquifère (Colin, 2000).

**1.6.2. Viscosité :** La viscosité d'un hydrocarbure définit sa résistance à l'écoulement. Elle influe directement sur la perméabilité au niveau du sol. Les hydrocarbures à forte viscosité s'écoulent moins facilement que ceux à plus faible viscosité. Tous les hydrocarbures deviennent plus visqueux au fur et à mesure que la température baisse (**Colin, 2000**).

**1.6.3. Solubilité :** Selon **Faccendini (1995)**, la solubilité d'un composé conditionne son transfert vers l'eau et de fait vers la nappe phréatique. Elle détermine l'existence, l'extension et la composition des panaches de contamination dissoutes.

**1.6.4. Volatilité :** La volatilité conditionne la répartition du produit entre la phase gazeuse et la phase liquide. Elle est définie, d'une part, par la pression de vapeur, et d'autre part, par la courbe de distillation (**Ballerini et al., 2007**).

**Blumer (1976)** note que la connaissance des propriétés physico-chimiques des hydrocarbures permet de mieux prévoir leur répartition et leurs impacts potentiels sur les différents compartiments de l'environnement (air, eau, sol, sédiments et êtres vivants). Ainsi (**tableau 01**) :

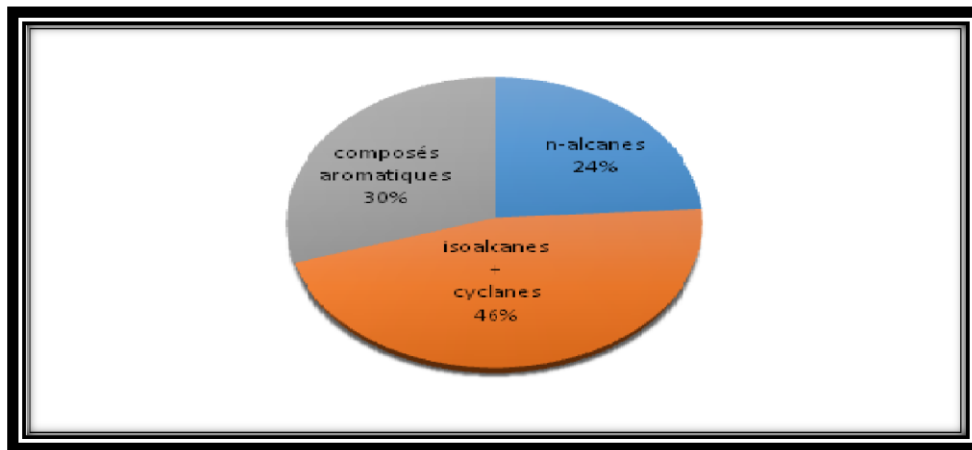
**Tableau 1.** Typologie simplifiée des principaux composés hydrocarbonés (**Colin, 2000**).

Famille de polluants	Propriétés principales	Exemples	Activités génératrices
<b>HC légers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très légers</li> <li>• Biodégradables</li> <li>• Solubilité variable</li> <li>• Volatiles</li> <li>• Viscosité variable</li> <li>• Adsorption variable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Essences</li> <li>• Gasoil</li> <li>• Fuels domestiqués</li> <li>• Carburants d'aviation</li> <li>• Pétrole brut</li> <li>• Naphta</li> <li>• Solvants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Station-service</li> <li>• Dépôt de stockage</li> <li>• Installation de transport (oléoducs, fer, route, voies maritimes)</li> <li>• Raffineries</li> <li>• Usine de peintures</li> </ul>
<b>HC lourds</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densité variable, en général plus lourds que l'eau</li> <li>• Peu biodégradables</li> <li>• Peu solubles</li> <li>• Peu volatils et visqueux</li> <li>• Adsorption forte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuels lourds</li> <li>• Goudron du pétrole</li> <li>• Créosote</li> <li>• Certaines huiles de coupe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chaudières industrielles</li> <li>• Centrales thermiques</li> <li>• Usines à gaz</li> <li>• Raffineries</li> <li>• Traitements du bois</li> </ul>

## 1.7. Hydrocarbures utilisés

### 1.7.1. Gasoil

Le diésel est l'un des principaux produits de distillation du pétrole brut (l'intervalle de sa distillation est compris entre 180 et 380 °C). Il est de même composé de trois classes fondamentales d'hydrocarbures (**figure 01**), principalement des hydrocarbures de chaîne de 10 à 28 atomes. Il est moins volatil et moins fluide, donc plus persistant que l'essence (**Ballerini et al., 2007**). C'est une catégorie intermédiaire entre les produits légers et lourds avec une masse volumique comprise entre 820 et 860 kg/m<sup>3</sup> (**Wauquier, 1994**). Sa composition dépend du pétrole brut original. Il contient 2000 à 4000 fractions d'hydrocarbures qui ne peuvent être totalement séparées par chromatographie en phase gazeuse [**tableau 02**] (**Marchal et al., 2003**).



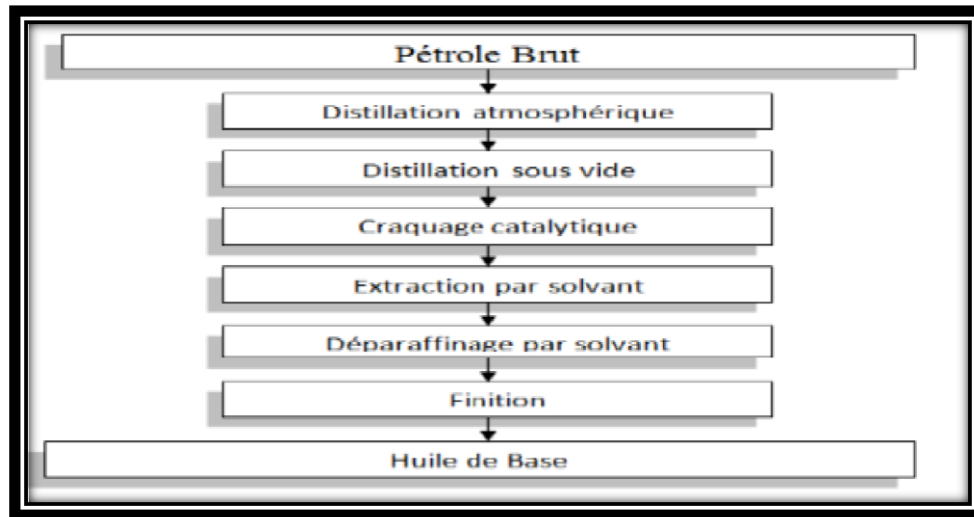
**Figure 1.** Composition du gasoil (**Marchal et al., 2003**).

**Tableau 2.** Principales propriétés physico-chimiques du gasoil (**INRS, 2006 ; RA, 2017**).

Analyse	Unité	Résultats
Apparence	-	Incolore à jaune
Point d'ébullition	°C	170 à 390
Solubilité	-	Pratiquement insoluble dans l'eau
Masse volumique à 15 °C	Kg/m <sup>3</sup>	820 à 860
Température d'auto-inflammation	°C	220
Point d'éclair	°C	55-58
Limite d'explosivité dans l'air	% vol	Inférieur : 0,6 / Supérieur : 6,5
Pression de vapeur saturante à 20 °C	mbar	1
Viscosité dynamique à 37 °C	SUS	32,6-40,1
Teneur en soufre	%	0,061
Point d'écoulement	°C	-12
Teneur en eau	-	TND

### 1.7.2. Huile de moteur

L'huile de moteur (ou l'huile de lubrification) est formulée d'une huile de base minérale issue d'un pétrole brut après traitement (**figure 02**), dopée d'un paquet d'additifs convenablement choisis pour qualifier le lubrifiant à assurer sa fonction requise malgré les contraintes. La fabrication de lubrifiant industriel nécessite plusieurs traitements de raffinage (**Hidaya, 2017**).



**Figure 2.** Fabrication d'une huile de base minérale issue de l'extraction du pétrole brut (**Hidaya, 2017**).

**Tableau 3.** Classification d'une huile minérale sur la base des structures moléculaires (**Castrol, 2006**).

Structure	Fraction principale	Caractéristiques
A base de paraffine	+ de 75% de paraffines	Densité < 900 kg/m <sup>3</sup> Indice de viscosité 93-105
A base de naphtène	+ de 70% de naphtènes	Densité 900-940 kg/m <sup>3</sup> Indice de viscosité 30-80
Aromatique	+ de 50% d'aromatiques	Densité > 940 kg/m <sup>3</sup> Indice de viscosité 0-40

Les huiles sont constituées d'une huile de base minérale ou synthétique et d'un groupe d'additifs (comme les antioxydants, les détergents, les dispersants, les améliorants de l'indice de viscosité, les abaisseurs de point d'écoulement, les anti mousses ...) ajoutant chacun une propriété particulière afin d'améliorer le rôle de ces huiles [**tableau 05**] (**MEFI, 2000 ; Castrol, 2006**).

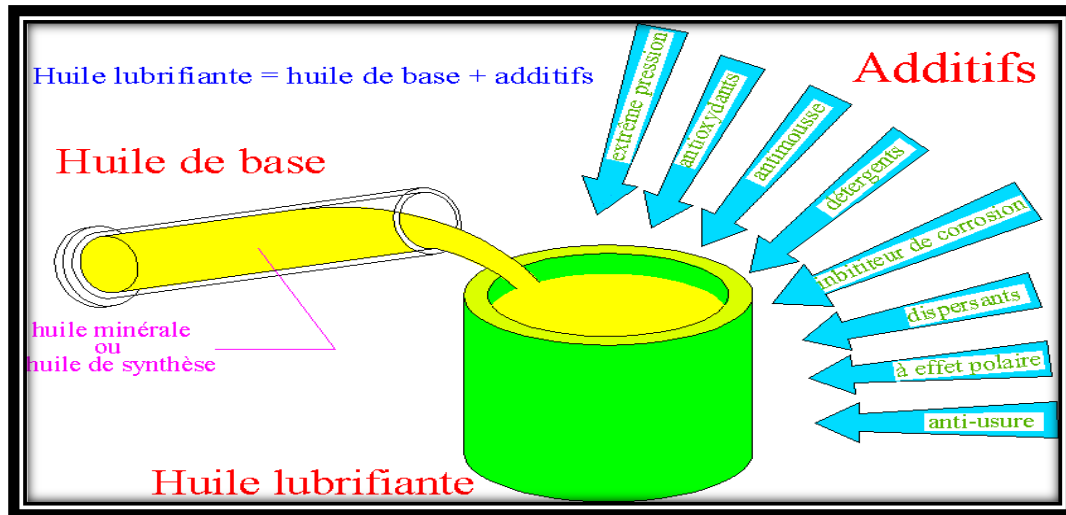


Figure 3. Composition de l'huile lubrifiante (Castrol, 2006).

Tableau 4. Résumé des principales propriétés physico-chimiques de l'huile de moteur (<http://joho.monsite.orange.fr>).

Influence de la température sur la durée de service des huiles minérales									
Température de Service de l'huile	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C	≥100°C
Durée de vie Indicative de l'huile minérale	30 ans	15 ans	7 ans et 6 mois	3 ans et 9 mois	1 an et 9 mois	12 mois	6 mois	3 mois	utiliser des huiles de synthèse
Variations de la chaleur massique et de la conductivité thermique en fonction de la température									
	0°C	40°C	90°C	120°C					
Chaleur massique kJ/kg.K (huile de densité 0,934)	1,75	1,88	2,12	2,28					
Chaleur massique kJ/kg.K (huile de densité 0,825)	1,85	1,99	2,21	2,35					
Conductivité thermique W/m.K (huile de densité 0,934)	0,137	0,134	0,129	0,125					
Variation de la densité d'une huile minérale avec la température et la pression									
	0°C	60°C	120°C						
Densité à la pression atmosphérique	0,88	0,85	0,82						
Densité sous une pression de 1500 bars	0,94	0,92	0,90						

## 1.8. Impacts des hydrocarbures sur l'environnement

**1.8.1. Action sur les sols :** En ce qui concerne les effets sur les propriétés physiques du sol, Rouquerol *et al.*, (1977) notent qu'après une semaine de déversement des hydrocarbures dans le sol, la terre présente déjà une structure poudreuse dispersée attestant

l'affinité entre les particules minérales du sol et les particules d'hydrocarbures. Cette structure assure une bonne circulation des fluides d'air et d'eau dans le sol ; en même temps, elle accroît le pouvoir de rétention : les sols pollués par les hydrocarbures ont 2 % d'humidité de plus que les sols témoins. Quant aux effets sur les propriétés chimiques, **Chaineau et al., (1996)** rapportent à ce propos qu'une diminution du pH du sol et de la teneur en quelques sels minéraux (potassium, calcium et phosphore) est fortement probable.

**1.8.2. Action sur la microflore :** L'aptitude des micro-organismes à utiliser les différents substrats contenant la matière organique comme source de carbone est connue depuis longtemps. De ce fait, l'apport des hydrocarbures dans le sol accroît, de façon considérable, l'activité microbienne. Cette modification de la microflore en présence d'hydrocarbures apparaît au bout du 54<sup>ème</sup> jour après le déversement (**Oudot, 1975**).

**1.8.3. Action sur la flore :** Le concept « phytotoxicité » désigne toute substance susceptible de réduire le développement de certains végétaux. Elle se manifeste par une inhibition de la germination des graines et/ou celle de la croissance végétative qui a un impact négatif sur la matière sèche (**OEPP, 2011**). Le contact entre le produit pétrolier et la surface foliaire des végétaux va entraîner des dégâts qui vont dépendre de la nature du produit lui-même et de la dose appliquée (**Bergue et Mérienne, 1986**). D'ailleurs, un produit léger à basse viscosité tels que les carburants causent des dommages immédiats sous forme de brûlures des parties aériennes, alors qu'un produit lourd à viscosité élevée (hydrocarbure aromatique polycyclique) pénétrant plus lentement les tissus cause des dégâts chroniques moins apparents, mais réduit les échanges gazeux entre la plante et l'atmosphère (**Gatellier et al., 1974**).

**1.8.4. Action sur la chaîne alimentaire :** Les sols contaminés par les hydrocarbures présentent un danger lors d'un contact direct avec l'homme ou l'animal ou indirect par la chaîne alimentaire, par le phénomène de la bioaccumulation avec le piégeage par les végétaux et les animaux des polluants ou de leur produits de dégradation jusqu'à des teneurs atteignant les seuils de toxicité (**Scriban, 1999**).

## Chapitre II : La réhabilitation des sols pollués

### Introduction

Il existe une grande variété de méthodes de réhabilitation des sols contaminés, possédant toutes des avantages et des inconvénients avec lesquels on doit composer. Or, la méthode choisie devra être en mesure de traiter la source de pollution, de maîtriser les impacts et de protéger les cibles exposées (**Colombano et al., 2010**). Elle devra aussi permettre d'améliorer la qualité de l'environnement, d'assurer la protection de la santé humaine et de promouvoir la réutilisation de ces terrains décontaminés (**Lavallée, 2006**).

Vu la grande diversité de méthodes de réhabilitation, certains auteurs ont tenté de les classer selon différents critères. Toutefois, il n'y a pas de classification universelle, et les méthodes peuvent d'ailleurs être classées en fonction du lieu de traitement, du devenir des polluants et de la nature des procédés employés (**Colombano et al., 2010**). De plus, il est important de noter que les différentes méthodes de réhabilitation citées dans ce chapitre ne sont pas exclusives et qu'elles peuvent être utilisées en combinaison avec d'autres méthodes afin de maximiser la décontamination (**Trudeau, 2012**). D'ailleurs, certaines méthodes vont être en mesure de traiter un contaminant bien spécifique tandis que d'autres vont pouvoir traiter un éventail de polluants. C'est pourquoi une caractérisation du site est préalable au choix du ou des traitements qui seront appliqués sur le site.

D'abord, si l'on classe les techniques de réhabilitation selon le lieu de traitement, on distingue deux types de traitements : *ex situ* et *in situ*. Les traitements *ex situ* nécessitent que l'on excave le sol pollué, il peut par la suite être transporté vers un autre lieu où il sera traité dans les installations appropriées ou traité sur place par une unité mobile (*on situ*) (**Pavel et Gavrilesco, 2008**). Au contraire, les traitements *in situ* ne nécessitent pas l'excavation des sols pollués, il s'agit plutôt d'extraire, de dégrader ou de fixer les polluants dans le sol directement. Ces traitements *in situ* ne demandent donc aucun transport des sols traités, ce qui permet de faire de grandes économies sur l'ensemble du projet de décontamination (**Colombano et al., 2010**).

En second lieu, si l'on classe les techniques selon le devenir des polluants, on distingue deux possibilités, soit l'immobilisation ou la destruction partielle/totale des polluants présents dans les sols. L'immobilisation permet de modifier la mobilité ou la toxicité des polluants ou les deux dans certains cas. Ces modifications peuvent être effectuées en agissant sur le polluant directement ou sur le milieu récepteur. Les options d'enfouissement,

d'excavation ou de confinement font partie des techniques qui permettent l'immobilisation des contaminants (Trudeau, 2012). A l'opposé, lorsque l'on souhaite détruire les polluants, on doit avoir recours aux traitements physiques, chimiques, thermiques ou biologiques (Colombano *et al.*, 2010). Or, lorsque l'on parle d'une classification en fonction de la nature des procédés employés, ce sont ces quatre types de traitement que l'on distingue (Hebert et Bernard, 2013). Ces méthodes seront le sujet principal de ce chapitre et elles seront toutes détaillées.

## 1. Méthodes de réhabilitation

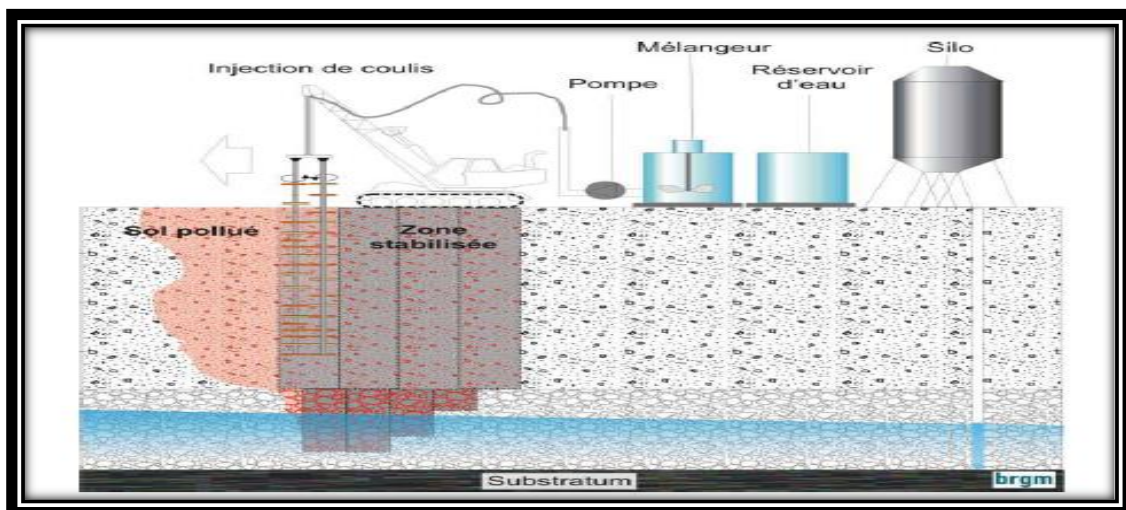
### 1.1. Techniques physiques

Actuellement, elles constituent la majorité des techniques mises en œuvre. On distingue deux types de méthodes : celles par piégeage et par évacuation (Akmouci-Toumi, 2009).

#### 1.1.1. Procédés physiques par piégeage

**a. Confinement :** consiste à isoler la source de pollution à l'aide de matériaux argileux et/ou synthétiques. Ils sont utilisés en couverture, par parois verticales et horizontales, en injections dans le sol ou en enrobage des déchets (encapsulation). En règle générale, le site est recouvert de manière à éviter le lessivage et reste sous surveillance à l'aide de piézomètres (Akmouci-Toumi, 2009).

**b. Solidification-stabilisation :** s'applique sur les sols excavés. Les polluants sont piégés dans une matrice formant un matériau solide, peu perméable et non réactif. La stabilisation à chaux ou par des argiles est employée pour des pollutions liées à la créosote ou des déversements de pétrole (naufages de pétroliers). (Colin, 2000) (Figure 04).



**Figure 4.** Principe de la solidification / stabilisation *in situ* (Colombano *et al.*, 2010).

### 1.1.2. Procédés par évacuation

**a. Excavation :** est la méthode la plus simple à mettre en œuvre et qui permet de supprimer rapidement une source de pollution locale. Généralement, les terres excavées sont acheminées vers un centre de traitement spécialisé ou vers un centre d'enfouissement. Ce traitement consiste à tamiser le sol à sec afin d'éliminer la fraction la plus grossière (diamètre > 4-5 mm). Ensuite, l'eau est ajoutée et le mélange sol-eau est homogénéisé puis tamisé en plusieurs fractions. Les sables sont séparés des limons et des argiles, et les polluants se concentrent dans les fractions les plus fines que l'on fait flocculer puis passer dans un filtre presse pour être finalement traités. Pour améliorer la récupération des HAP, des tensioactifs sont ajoutés au fluide de lessivage, permettant ainsi la dispersion des polluants dans la phase liquide (Come et Ducreux, 2001).

**b. Pompage et traitement :** permet de confiner hydrauliquement la pollution et de procéder à une décontamination en surface de l'eau pompée afin de pouvoir la réinjecter (Figure 05). Cette technique nécessite souvent l'ajout d'un tensioactif pour favoriser la désorption des HAP (Come et Ducreux, 2001).

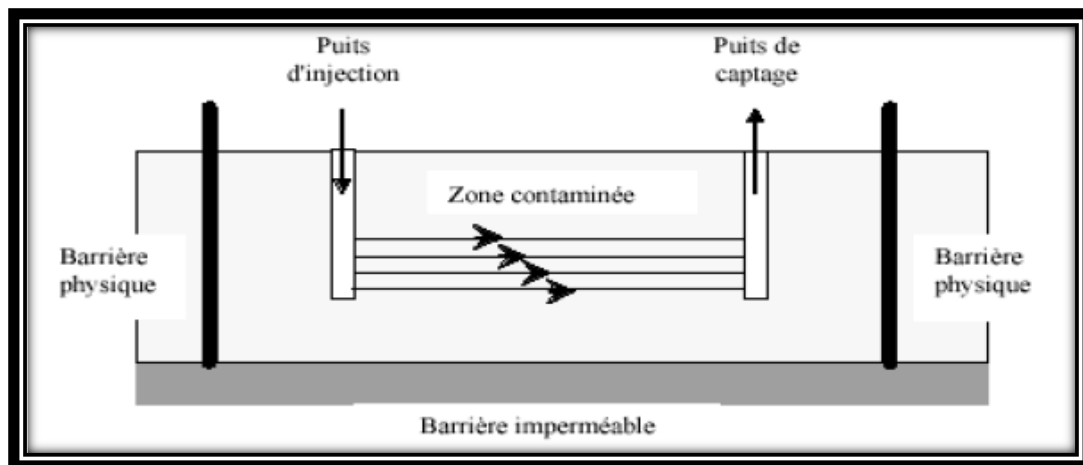


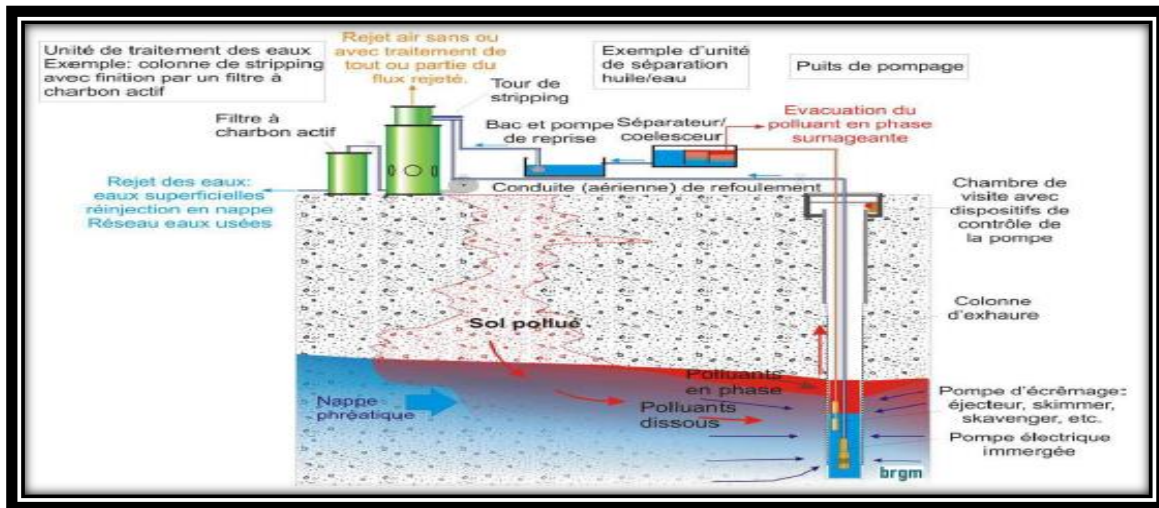
Figure 5. Pompage et traitement avec injection d'un tensioactif (Come et Ducreux, 2011).

### 1.1.3. Technique du pompage-écrémage

Une autre méthode, est celle du pompage-écrémage qui est basée sur le pompage sélectif d'un produit flottant. Cette technique s'applique donc pour des produits organiques en phase flottante au toit de la nappe comme les hydrocarbures. Cette méthode est en général couplée à un rabattement de nappe qui facilite l'écoulement du toxique vers le point de captage (Colin, 2000) (Figure 06).

L'intérêt principal de cette méthode repose sur l'élimination rapide d'une grande quantité de polluants et, si le rabattement n'est pas trop fort, elle n'induit pas de pollution en

profondeur supplémentaire. Cette technique ne s'emploie pas seul et est toujours couplée à des méthodes permettant de traiter le polluant restant, qui représente en moyenne 50% de la quantité initiale contenue dans le sol (Colin, 2000).



**Figure 6.** Principe du pompage-écrémage (Colombano *et al.*, 2010).

## 1.2. Techniques chimiques

Les traitements chimiques ont pour but de détruire les polluants ou de les transformer en une forme moins nocive pour l'environnement, et ceci par l'intermédiaire de réactions chimiques se produisant entre le polluant et le réactif ajouté. Ils peuvent être applicables *in situ* ou après excavation des sols. La majorité des procédés exigent que les sols soient sous forme de boues ou que les contaminants soient mobilisés dans un milieu liquide (Masten et Davies, 1997).

### 1.2.1. Méthodes de mobilisation et d'extraction

Les applications *in situ* se font par une solution chimiquement réactive (ex : tensioactif) qui va s'infiltrer dans le sol et mobiliser le polluant. La solution chargée du polluant est ramenée en surface par des pompes dans des drains ou dans des puits. Ensuite, elle est purifiée et recyclée pour une nouvelle aspersion. Le cycle peut ainsi fonctionner en continu, sur de très longues périodes, avec des apports de solution neuves en cas de pertes (Akmouci-Toumi, 2009). Ainsi, dans le cas d'utilisation de surfactant, les tensioactifs anioniques seront préférés aux tensioactifs cationiques (West et Harwell, 1992). Le surfactant choisi doit être préférentiellement non toxique envers les micro-organismes du sol et être biodégradable (McCray et Brussreau, 1998).

Les avantages de cette méthode sont d'une part, sa facilité de mise en place et son coût peu élevé, et d'autre part, son rendement intéressant. Les principaux inconvénients à prendre

en compte concernent l'état du sol après traitement : les lessivages par des solutions toxiques et l'effet de colmatage plus ou moins prononcé peuvent altérer l'état des sols de façon irréversible (Akmouci-Toumi, 2009).

### 1.2.2. Réactions chimiques

Elles permettent de transformer les polluants en des composés moins toxiques et de mobilité différente. Ce type de traitement est habituellement appliqué sur site. L'oxydation est la seule méthode applicable aux HAP car la réduction ne se fait que sur des produits halogénés (Akmouci-Toumi, 2009). En pratique, peu d'oxydants peuvent être utilisés car ils sont très sensibles au pH, et la forme sous laquelle ils sont disponibles n'est pas nécessairement compatible avec un traitement à grande échelle. Les plus utilisés pour traiter les HAP sont l'ozone (O<sub>3</sub>) et le peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (Masten et Davies, 1997). Dans tous les cas, les oxydants n'ont pas une action spécifique, et une partie sera consommée par des réactions avec la matière organique des sols, altérant ainsi ces derniers (Akmouci-Toumi, 2009).

### 1.3. Techniques thermiques

Les méthodes thermiques utilisent la chaleur afin de détruire les polluants, de les isoler ou de les rendre inertes (Colombano *et al.*, 2010). Cette chaleur administrée à la zone contaminée va augmenter la volatilité des contaminants présents dans le sol. Généralement, les traitements thermiques offrent une décontamination rapide, mais à un prix assez dispendieux comparativement aux autres traitements (Pavel et Gavrilesco, 2008). Le **tableau 05** énumère différents procédés de décontamination thermique que l'on peut trouver sur le marché.

**Tableau 5.** Méthodes de réhabilitation thermique des sols contaminés (FRTR, 2008).

Méthodes thermiques	<i>Ex situ</i>	<i>In situ</i>
Résistance électrique, injection de vapeur, fibre optique, etc.		X
Vitrification	X	X
Incinération	X	
Pyrolyse	X	
Désorption thermique ( <b>Figure 07</b> )	X	
Décontamination des gaz chauds	X	

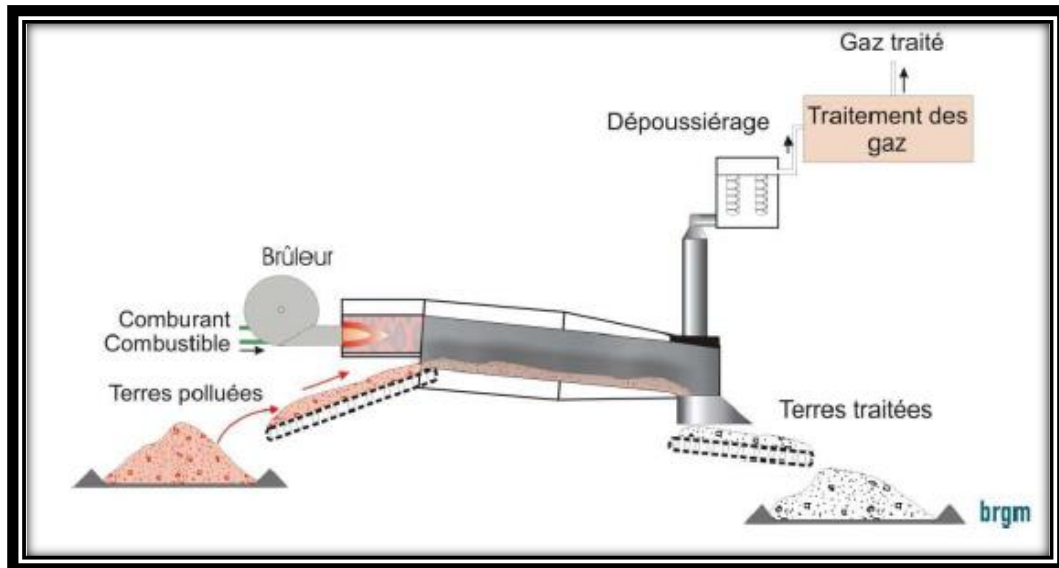


Figure 7. Principe de la désorption thermique *ex situ* (Colombano *et al.*, 2010).

#### 1.4. Méthodes biologiques

Les biotechnologies peuvent être analysées en deux parties : la bioremédiation et la phytoremédiation. Malgré le caractère distinct donné par la plupart des littératures, il serait intéressant, voire même essentiel de pouvoir les combiner car, comme il a été vu précédemment, le sol en tant que milieu vivant est corollaire du bon développement des plantes et réciproquement.

##### 1.4.1. Bioremédiation

Les techniques de bioremédiation utilisent les propriétés dépolluantes de micro-organismes (essentiellement des bactéries, mais aussi des champignons) endogènes ou exogènes au site contaminé. La biodégradation d'un composé est souvent le résultat de l'action de multiples organismes (Boopathy, 2000 ; Vidali, 2001). Majoritairement, la bioremédiation peut être appliquée *in situ*. Ces techniques, relativement peu coûteuses, sont appréciées du grand public. Elles peuvent être subdivisées en plusieurs catégories selon le principe biologique ou le mode de dépollution mis en œuvre (McGrath *et al.*, 2002).

**1.4.1.1. Traitement biologique par aération de sol (bioventing) :** Le bioventing est une technologie prometteuse qui consiste à stimuler la biodégradation *in situ* de polluants dans les sols, en fournissant à la microflore en place l'oxygène nécessaire. L'oxygène est apporté par l'injection d'air dans la zone contaminée. Afin que cette méthode soit efficace, il est nécessaire que le milieu poreux présente une bonne teneur en éléments minéraux et un sol colonisé par des microorganismes adaptés à la pollution pour que la technique du bioventing soit envisageable (Perchet, 2008).

**1.4.1.2. Biodégradation :** Cette méthode est basée sur la capacité de certains micro-organismes à transformer le polluant en substrat (source de carbone, d'énergie). En effet, cette propriété est mise en évidence dès 1946 par Zobell qui observe l'utilisation d'hydrocarbures par des microorganismes. Les polluants sont généralement des hydrocarbures pétroliers ou des solvants industriels (**Vidali, 2001**).

**1.4.1.3. Bioslurry :** Il s'agit d'un traitement en bioréacteur, et donc hors site (*ex situ*), permettant la création d'une boue épaisse composée de la partie fine du sol dans l'eau à laquelle des nutriments sont ajoutés afin de stimuler la croissance de la population microbienne. Un système d'aération est employé pour les procédés aérobies. En fin de traitement, les phases solides et liquides sont séparées et le sol est remis en place. Ces traitements sont appliqués pour les hydrocarbures, les phénols, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), le pétrole, les polychlorobiphényles (PCB), les composés organiques halogénés volatils ou semi volatils. Les résultats sont cependant étroitement liés à l'accessibilité du polluant et à sa sensibilité à la dégradation biologique, avec un taux de dégradation variable selon le type de sol et la nature du polluant (**Zappi et al., 1996**).

**1.4.1.4. Compostage :** Lors du compostage, le sol est mélangé avec des co-produits de l'agriculture (pailles de luzerne, tiges de betteraves à sucre et déchets végétaux). La mise en andains (tas allongés disposés sur une aire bétonnée), à l'air libre ou sous hangar, avec retournement mécanique, aération forcée et ajout de nutriments permet d'améliorer le rendement de la biodégradation naturelle en diminuant la durée du traitement de 3 à 9 mois selon le polluant. Cette biotechnologie est efficace pour diminuer la toxicité des sols mais elle nécessite des temps d'incubation longs et les coûts de mise en place et de maintenance sont élevés (**Klamer et Baath, 1998 ; Hussein et al., 2001**).

**1.4.1.5. Biorestauration :** Cette méthode consiste en l'ajout de nutriments (azote / phosphore) pour stimuler la croissance des micro-organismes indigènes et favoriser la dégradation des polluants organiques (hydrocarbures pétroliers, HAP) ou inorganiques (**Hutchins et al., 1991**).

## **1.4.2. Phytoremédiation**

Etymologiquement, le terme phytoremediation, issu du grec phyto qui signifie plante et du latin remedium qui signifie corriger un méfait, est défini comme étant l'utilisation de plantes (arbres, espèces hyperaccumulatrices, plantes cultivables, etc...) et de leurs microbiotes associés, d'amendement du sol et de techniques agricoles pour bloquer, extraire, accumuler, transformer ou détruire les contaminants environnementaux. Ces techniques sont utilisées pour le traitement des sols, boues, sédiments, effluents liquides voire gazeux et

s'appliquent aux polluants organiques mais aussi inorganiques comme les métaux lourds ou les radioéléments (Cunningham *et al.*, 1995 ; Dechamp et Meerts, 2003).

#### **1.4.2.1. Rôle des plantes**

Il existe des interactions spécifiques et non spécifiques entre les plantes et les microorganismes présents dans le sol (Siciliano et Germida, 1998). Ces associations permettent entre autres aux bactéries et champignons d'avoir accès à une source importante de carbone. Cette grande disponibilité d'énergie fait en sorte que d'importantes populations de microorganismes dans la rhizosphère se développent à proximité des racines. Or, plusieurs avantages sont observés grâce à ces associations. Notamment, elles procurent une forme de protection au niveau des racines face aux agents pathogènes présents dans le sol, cette barrière a pour fonction de les détruire (ITRC, 2009). De plus, certaines bactéries ont la capacité de réduire la toxicité des contaminants afin que les plantes puissent croître sans effet négatif (Siciliano et Germida, 1998).

Certaines plantes ont d'ailleurs développé des mécanismes de résistance contre certains polluants, que ce soit par la capacité de stocker des contaminants dans des zones non vitales de la plante ou par la capacité de les rendre non nocifs pour l'environnement (San Miguel, 2011). C'est d'ailleurs le cas pour les plantes dites hyperaccumulatrices qui peuvent emmagasiner dans leurs tissus des quantités de contaminants normalement toxiques pour la majorité des végétaux.

De plus, d'autres types de végétaux que l'on nomme plantes à croissance rapide, comme les saules et les peupliers peuvent aussi être utilisés afin de réhabiliter les sites contaminés. De nombreuses qualités sont associées à ces plantes ligneuses, dont les principales sont : leur grand pouvoir d'évapotranspiration, leur rapidité de croissance, l'étendu de leur système racinaire ainsi que leur facilité de propagation végétative (Kuzovkina et Volk, 2009).

D'ailleurs, Les espèces faisant partie de la famille des salicacées sont reconnues pour avoir un système racinaire très étendu, qui leur permet de capter beaucoup plus d'eau et de nutriments (Fortier, 2008). C'est pourquoi leur utilisation en phytoremédiation est de plus en plus fréquente, sans oublier que ces végétaux peuvent du même coup résoudre plusieurs autres problèmes environnementaux.

#### **1.4.2.2. Techniques de phytoremédiation**

Les différentes études réalisées à ce jour permettent d'envisager six types de stratégies de phytoremédiation particulièrement prometteuses.

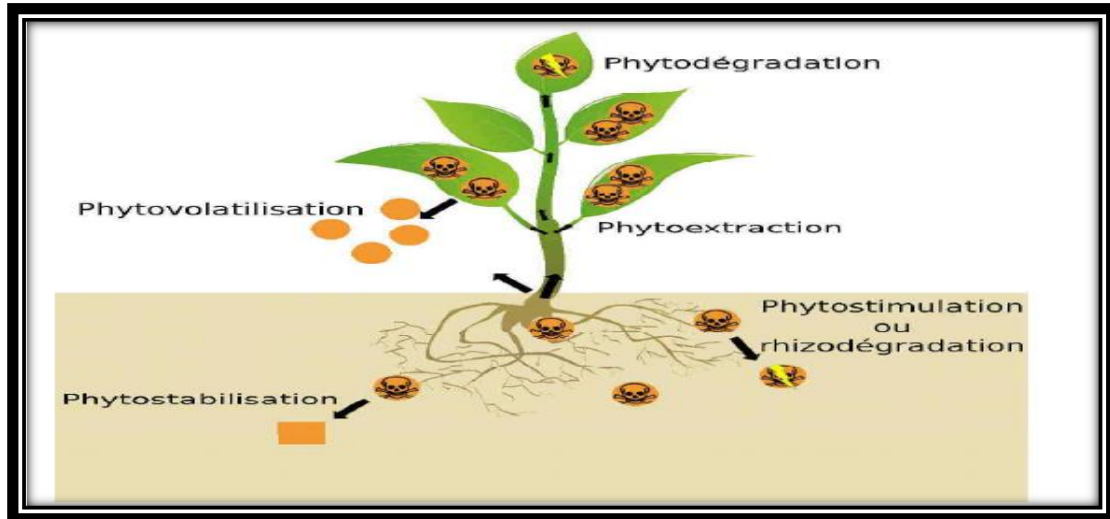


Figure 8. Différentes techniques de phytoremédiation (Pilon-Smits, 2005).

**1.4.2.2.1. Phytodégradation :** La phytodégradation est couramment utilisée afin de dégrader les polluants organiques, comme les solvants chlorés, les herbicides, les insecticides et les hydrocarbures (Vishnoi et Srivastava, 2008). Cette technique, aussi appelée phytotransformation, consiste à la dégradation des polluants organiques en des molécules moins toxiques et plus simples (ADIT, 2006).

Ces mécanismes de dégradation qui opèrent se font soit directement par le relâchement d'enzymes produites par la plante ou sont le résultat de l'activité métabolique dans les tissus de la plante (Greipsson, 2011). Les enzymes impliquées dans la dégradation externe à la plante sont les déhalogénases, les oxygénases et les réductases (Black, 1995). Une fois dégradés, les contaminants vont être absorbés par la plante, incorporés aux tissus et utilisés comme nutriments afin de contribuer à la croissance de la plante (EPA, 1999).

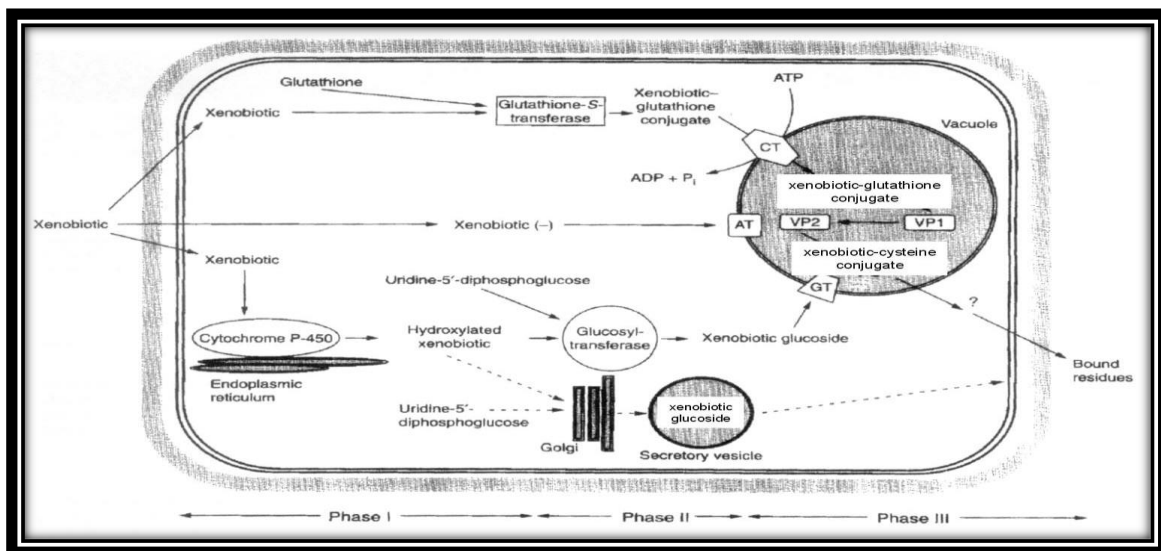
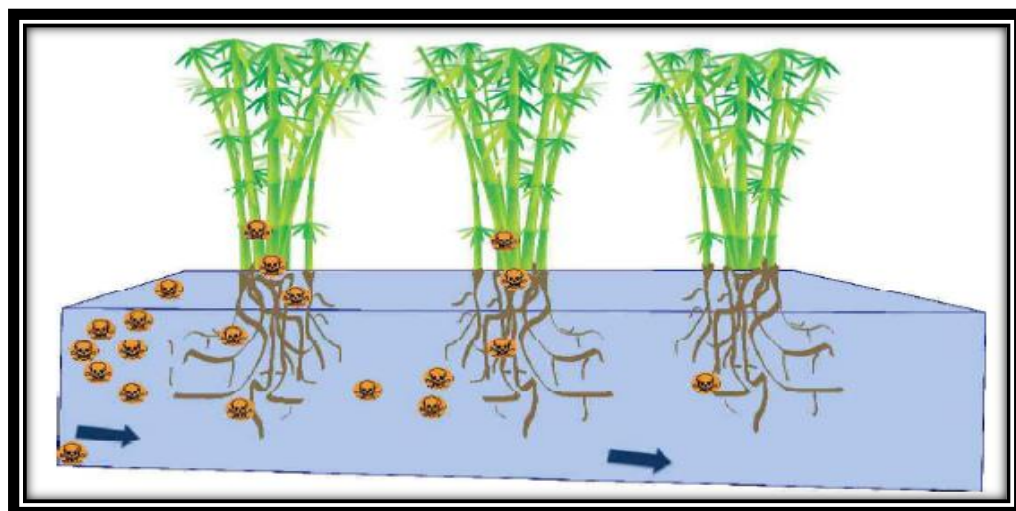


Figure 9. Processus de détoxification des xénobiotiques dans les cellules végétales (Coleman et al., 1997).

**1.4.2.2. Rhizodégradation:** La rhizodégradation, aussi appelée phytostimulation (Anderson *et al.*, 1993), consiste en la dégradation des contaminants présents dans la rhizosphère par l'activité microbienne qui est favorisée par la présence des plantes (UNEP, 2002). Les plantes peuvent modifier les propriétés physicochimiques et biologiques de la rhizosphère par la sécrétion d'exsudats par les racines et à la pénétration des racines dans le sol. Ces composés qui varient selon les espèces vont avoir une influence positive sur les populations de micro-organismes (Shimp *et al.*, 1993). Notamment, certains micro-organismes ont la capacité de dégrader des contaminants organiques comme les solvants et les hydrocarbures afin de les utiliser comme source de nutrition et d'énergie (UNEP, 2002 ; Hutchinson *et al.*, 2003 ; Olson *et al.*, 2003).

**1.4.2.2.3. Rhizofiltration :** La rhizofiltration (ou phytofiltration) consiste en l'adsorption ou la précipitation sur les racines de la plante (ou l'absorption dans les racines) des contaminants présents dans l'eau souterraine, l'eau de surface ainsi que les eaux usées (UNEP, 2002 ; EPA, 2000). Cette technique est utilisée afin de traiter les sites contaminés aux métaux et radionucléides (Kvesitadze, 2006), comme le plomb, le cuivre, le zinc, le nickel, l'uranium, le césium et le strontium (EPA, 2000 ; Salt, 1995).

Les plantes utilisées afin de décontaminer les eaux peuvent être de type terrestre ou aquatique (Ghosh *et Singh*, 2005). Afin que les plantes sélectionnées pour ce type de technique puissent effectuer une décontamination efficace du milieu, elles doivent posséder une grande surface de contact au niveau de leurs racines (EPA, 1999). Or, lorsque les racines des plantes sont saturées en contaminants, les plantes sont récoltées et de nouvelles plantes vont être plantées afin de continuer le travail de décontamination (Gouvernement du Canada, 2008).



**Figure 10.** Système de rhizofiltration (Pilon-Smits, 2005).

**1.4.2.2.4. Phytostabilisation :** Cette technique permet de réduire la mobilité et la biodisponibilité des polluants. Dans un premier temps, elle est assimilée aux phénomènes naturels de recolonisation végétale. En effet, les plantes et leurs systèmes racinaires peuvent être naturellement utilisées pour prévenir la migration des contaminants par érosion éolienne ou hydrique, le lessivage des sols, et l'érosion des particules contaminées du sol. Le couvert végétal diminue ainsi le taux de percolation (évaporation de l'eau retenue par les feuilles) et les concentrations en eau dans le sol (évapotranspiration) (**Mench *et al.*, 1994**).

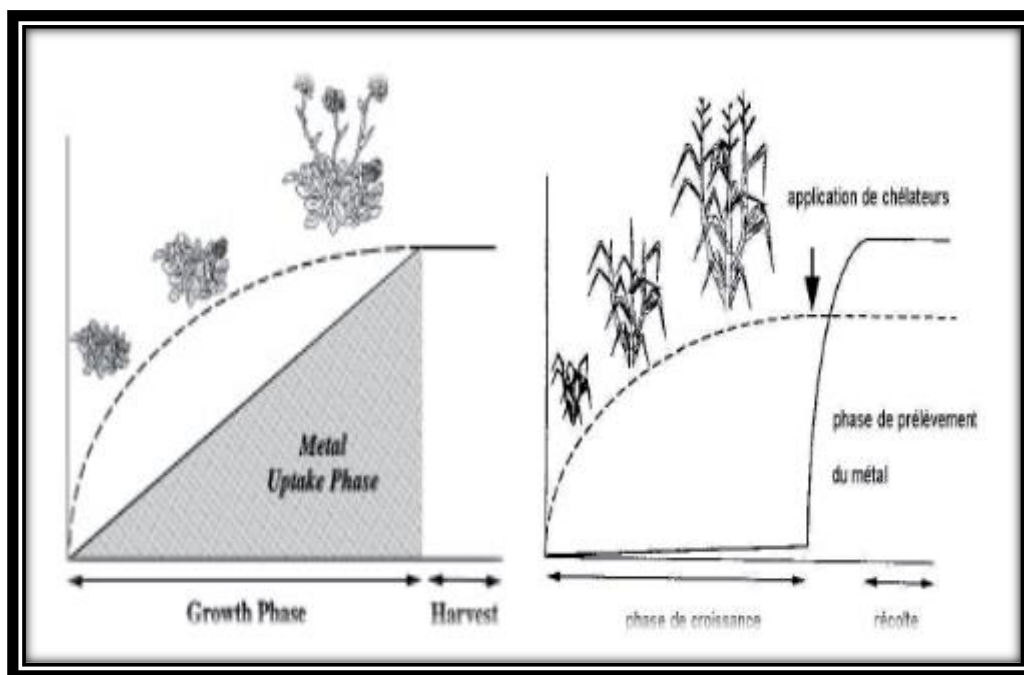
Dans un deuxième temps, cette technique est aussi caractérisée par l'immobilisation des contaminants par absorption et accumulation dans les racines (stockage des contaminants dans les vacuoles des cellules racinaires), adsorption sur les racines, ou par précipitation dans la rhizosphère. Les plantes adsorbent les polluants du sol, de l'eau ou de l'air, les retiennent localement par immobilisation physico-chimique (d'où l'utilisation du terme adsorption au lieu d'absorption) et réduisent ainsi leur biodisponibilité (**Ghosh et Singh, 2005**).

Les choix des végétaux se portent donc sur les plantes à forte évapotranspiration (réduisant les mouvements latéraux et horizontaux des polluants) et sur des plantes ayant la capacité de modifier les caractéristiques du sol et/ou du contaminant. Rappelons que de nombreux paramètres pédologiques influencent la disponibilité, la mobilité et la solubilité des polluants. Le pH peut ainsi être modifié par les exsudats racinaires ou la libération de CO<sub>2</sub>, l'état d'oxydation peut être changé par les plantes et les microorganismes rendant certains métaux insolubles, ...etc (**Evans, 1997**). Parfois, l'ajout d'amendements ou de chélates, induit ou amplifie et accélère le processus (**Cunningham *et al.*, 1995 ; Berti et Cunningham, 2000**).

**1.4.2.2.5. Phytoextraction :** La phytoextraction est la méthode la plus utilisée compte tenu du fait qu'il y a isolation des polluants, sans altérer la structure et l'activité biologique des sols (**Ghosh et Singh, 2005**). Aussi appelée phytoaccumulation, la phytoextraction réfère à l'absorption des contaminants présents dans le sol par les racines de la plante. Par la suite, ces contaminants sont transférés (ou transloqués) et accumulés dans les parties aériennes de la plante, comme les tiges et les feuilles, qui sont ensuite récoltées (**EPA, 1999**).

Cette phytotechnologie est applicable autant au niveau des sols que des eaux polluées, il suffit de faire appel à des plantes aquatiques ayant la capacité d'accumuler de grandes quantités de polluants (**Dabouineau *et al.*, 2005**). Cependant, elle n'est efficace que sur les terrains possédant un niveau de contamination variant de faible à modéré afin que les plantes soient en mesure de croître convenablement (**Padmavathiamma et Li, 2007**).

On distingue deux types de phytoextraction : induite et continue (Salt *et al.*, 1998). La phytoextraction induite nécessite l'ajout de chélateurs dans le sol afin d'augmenter la mobilité et l'absorption des contaminants dans la plante (Ghosh et Singh, 2005). Par exemple, l'ajout d'acide éthylène diamine tétraacétique (EDTA) dans les sols, peut rendre le plomb biodisponible afin que celui-ci puisse être absorbé par la plante (Prasad, 2011). Des complexes chélateurs/ions métalliques seront ainsi formés afin d'être absorbés par les racines (Dabouineau *et al.*, 2005). Tandis que la phytoextraction continue dépend plutôt des capacités génétiques et physiologiques des plantes, c'est-à-dire que les plantes doivent être en mesure d'accumuler des quantités particulièrement élevées de contaminants durant leur vie (Peer *et al.*, 2006).



**Figure 11.** Phytoextraction induite par un chélateur (à droite) et la Phytoextraction continue (à gauche) (Salt *et al.*, 1998 ; Jemal et Ghorbal, 2002).

**1.4.2.2.6. Phytovolatilisation :** La phytovolatilisation ne consiste pas en une technique de dépollution mais de dispersion des contaminants. Elle peut être appréciée comme une variante de la phytoextraction. Dans ce cas, le contaminant n'est pas accumulé dans les parties aériennes, mais, est transformé en produit volatil puis est ensuite relargué dans l'atmosphère par évapotranspiration (Kramer, 2005). Les techniques de phytovolatilisation sont variées, comme l'utilisation d'espèces phréatophytes présentant des taux d'évapotranspiration importants (cas du sélénium) (Van Huysen *et al.*, 2003), ou encore le couplage avec des bactéries (Rugh *et al.*, 1996).

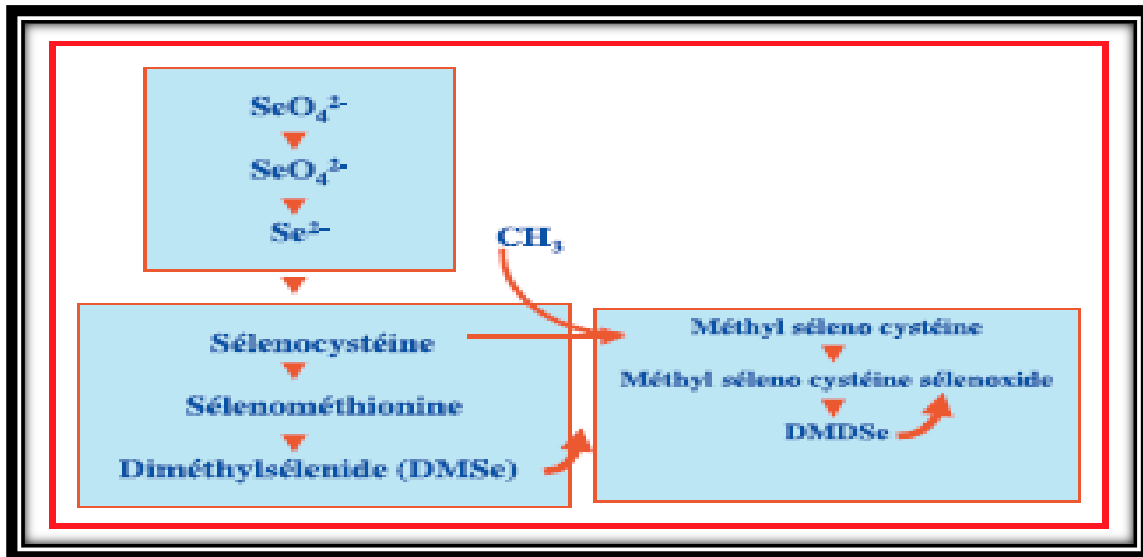


Figure 12. Métabolisme du sélénium dans la plante (Terry et Zayed, 1993).

Au cours des multiples avantages de la phytoremédiation, on a choisi d'étudier les effets de quelques doses de deux polluants hydrocarbonés « le diesel et l'huile de moteur » sur quelques plantes graminées (l'orge *Hordeum vulgare*) et légumineuses (le soja *Glycine max*) dans le sol et de suivre ces manifestations sur plusieurs paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques.

Ces objectifs peuvent faire la synthèse des problématiques tirées d'une série de questions comme suit :

- ❖ Est-ce qu'on peut cultiver ces plantes sans risque de dommages physiologiques ou autres, et sans risque de contamination du produit au dernier stade ?
- ❖ A quel niveau nous pouvons dire que la plante est tolérable pour ne pas causer des dommages réels sur la plante lui-même et sur la chaîne trophique ?
- ❖ Peut-on utiliser ces cultures pour extraire et réduire le taux du polluant hydrocarboné dans les sols en présence ?

Pour répondre à ces problèmes, on a envisagé de suivre l'évolution d'une culture graminée (l'orge *Hordeum vulgare*) et d'une légumineuse (le soja *Glycine max*) sur un sol contaminé artificiellement par quelques doses de gazoil et de l'huile de moteur. Et pour voir et suivre le comportement de la plante vis-à-vis le stress causé, on a jugé utile de suivre et d'étudier quelques paramètres biométriques, physiologiques et biochimiques.

*PARTIE PRATIQUE*

## Chapitre III : Matériel et méthodes

En vue de mettre en évidence le dispositif expérimental et les techniques d'évaluation de l'effet écotoxique des hydrocarbures (le gasoil et l'huile de moteur) sur les plantes testées, le matériel a été réuni et un ensemble des méthodes ont été adoptées.

### 1. Localisation géographique du site expérimental

L'étude a été réalisée dans la serre de la station expérimentale du département de l'agronomie située dans la commune de Mazagran à 4 Km au sud de Mostaganem entre 35° 35' 35" de l'altitude et 0° 4' 44" de longitude (**figure 13**).



**Figure 13.** Localisation de la station expérimentale (Google earth, 2017).

### 2. Matériel végétal

#### 2.1. Orge *Hordeum vulgare* L

L'orge cultivée (*Hordeum vulgare* L), issue des formes sauvages de l'espèce *Hordeum spontaneum* (à 02 rangs) trouvée dans le croissant fertile au moyen orient, est une plante annuelle de la classe des monocotylédones, de constitution génomique diploïde  $2n = 14$  (Jestin, 1992). Elle est une espèce tolérante au sel et à la sécheresse et très rustique, donc peut être cultivée dans les zones marginales à sols plus ou moins pauvres. Elle est classée selon les types printemps ou hiver, sa classification est basée sur la fertilité des épillets latéraux, la densité de l'épi et la présence ou l'absence des barbes, ce qui donne 2 types : orge à 02 rangs et orge à 06 rangs. La période entre la moitié de novembre jusqu'à la moitié de décembre est considérée comme la période idéale pour sa culture (Soltner, 2005).

Le choix de l'orge comme plante modèle dans cette étude s'est fait à sa croissance rapide et son large système racinaire fasciculé qui permet son utilisation en laboratoire.

### 2.1.1. Classification

D'après **Feillet (2000)**, l'orge cultivée appartient à la classification botanique suivante :

- **Règne** Plantae
- **Division** Magnoliophyta
- **Classe** Liliopsida
- **Sous Classe** Commelinidae
- **Ordre** Poale
- **Famille** Poaceae (Ex Graminées)
- **Sous Famille** Hordeoideae
- **Tribu** Hordeae (Hordées)
- **Sous Tribu** Hordeinae
- **Genre** Hordeum
- **Espèce** *Hordeum vulgare* L.

### 2.1.2. Variété

La variété utilisée est la variété locale **SAIDA 1983**, Obtenteur : ITGC (Ferme de démonstration et de production de semences de Saida) (**figure 14**). Cette variété est alternative (automne) et caractérisée par une lignée pure, un épi blanc très lâche, une hauteur atteint 90 cm à maturité, un tallage moyen, et un cycle végétatif semi précoce. Elle est résistante au froid, à la sécheresse, à l'égrenage, la rouille brune et sensible à la verse, et donne un rendement optimal égale à 30 qx/ha.



**Figure 14.** L'orge *Hordeum vulgare* L. variété locale **SAIDA 1983**.

## 2.2. Soja *Glycine max* L. Merr

Le soja, mot venant du japonais soy, est une plante herbacée annuelle fragile (craint l'excès de l'humidité) de la famille des fabaceae, de nom scientifique *Glycine max*, il atteint 60 à 130 cm de hauteur à maturité (5 à 6 mois) et produit des feuilles alternes, trifoliées et pubescentes et des gousses qui comptent 1 à 4 graines d'un diamètre de 5 à 6 mm avec une pellicule cellulosique recouvrant le germe, la plumule et deux cotylédons (Viet, 2010). Les racines jouent un rôle important pour le ravitaillement en azote de la plante. Elles assurent les deux voies d'alimentation azotée : l'absorption des nitrates du sol et la fixation de l'azote atmosphérique par les bactéries. La présence des isoflavones dans la racine favorise l'activité symbiotique entre le soja et les bactéries. Cette symbiose a lieu au sein d'excroissances racinaires appelées nodules ou nodosités (Caldwell *et al.*, 2005). Il existe une dizaine d'espèces et plusieurs milliers de variétés réparties en quatre familles : les graines vertes, les graines jaunes, les graines noires/marrons et les graines blanches (Viet, 2010).

### 2.2.1. Classification

Selon Cronquist (1981), Le soja est appartenu à la classification suivante :

➤ Règne	Végétal
➤ Embranchement	Spermaphytes
➤ Sous Embranchement	Angiospermes
➤ Classe	Dicotylédones
➤ Sous classe	Dialypétales
➤ Ordre	Fabales / Rosales
➤ Famille	Fabaceae (Ex légumineuses)
➤ Sous famille	Faboideae
➤ Genre	Glycine
➤ Espèce	<i>Glycine max</i> L

### 2.2.2. Variété

La variété utilisée est la variété française **Queen (figure 15)** (une obtention inscrite en 1992 par Dekalb et distribuée par la RAGT), c'est une variété à fleurs violettes, pilosité fauve, à petits grains, au hile noir, de bonne teneur en protéines et très adaptée à l'utilisation en alimentation humaine.



**Figure 15.** Le soja *Glycine max* L. variété **Queen**.

### 3. Pré-germination

Avant utilisation, les graines ont été stérilisées chimiquement par trempage dans l'hypochlorite de sodium (20% V/V) pendant 15 minutes suivi d'un rinçage à l'eau distillée. Elles ont ensuite été mises à tremper pendant 03 minutes dans une solution de peroxyde d'hydrogène (10% V/V) et rincées trois fois à l'eau déminéralisée. Finalement, les graines sont incubées durant quelques jours dans l'obscurité et à température ambiante.

### 4. Substrat de culture (le sol)

Dans notre étude, on a utilisé un sol provenant de la région de la commune de **Oued El Kheir** (située à 30 km de **Mostaganem**). Le sol est tamisé préalablement par un tamis à maille de 02 mm et mélangé avec le terreau industriel à raison de 2V/1V respectivement.

#### 4.1. Analyses physicochimiques et biologiques du sol utilisé

##### 4.1.1. Texture (granulométrie)

La texture du sol est déterminée par l'emploi de la pipete de Robinson suivant la méthode normalisée AFNOR NF X31-107 (**Buol et al., 2011b**). [Annexe 01 / 6. tableau VI].

##### 4.1.2. Potentiel d'hydrogène ( $pH_{\text{eau}}$ )

La mesure du pH se fait avec le rapport 1 : 2.5 sol/eau (de type HANNA HI8314) par l'utilisation de la méthode de **Grewelling et Peech (1960)**. [Annexe 01 / 6. tableau I].

##### 4.1.3. Conductivité électrique (CE)

La CE s'effectue avec le rapport 1 : 5 sol/eau (de type HANNA instruments HI8633) par la méthode de **Rhodes** citée dans **Mathieu et Pieltain (2003)**. [Annexe 01 / 6. tableau II].

##### 4.1.4. Capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique a été mesurée par la méthode **Metson** de norme AFNOR NF X31-130 (**Saragoni et al., 1992**). [Annexe 01 / 6. tableau III].

#### 4.1.5. Carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>)

La teneur en carbonate de calcium est déterminée par la méthode de **Woodward (1961)**, par le calcimètre Bernard, citée dans **Mathieu et Pieltain (2003)**. [Annexe 01 / 6. tableau V].

#### 4.1.6. Cations échangeables

La teneur en éléments Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup> et Na<sup>+</sup> a été déterminée par la méthode fluoro-nitro-perchlorique citée dans **Mathieu et Pieltain (2003)**.

#### 4.1.7. Matière organique (MO)

L'analyse de la matière organique a été effectuée par la méthode de **ANNE** utilisée le carbone organique et citée dans **Mathieu et Pieltain (2003)**. [Annexe 01 / 6. tableau IV].

### 5. Carburants utilisés (dérivés pétroliers)

Deux types de dérivés de pétrole ont été testés lors de la phase expérimentale. Il s'agit du **gasoil** (diésel) et **l'huile de moteur usée**. Ces produits proviennent d'une station-service située à la commune de Oued El Kheir (Mostaganem).

### 6. Pollution artificiel du sol

Le sol est dosé et mélangé avec les hydrocarbures (gasoil et l'huile de moteur) selon les doses décrites dans **le tableau 06**.

**Tableau 6.** Les doses du gasoil et de l'huile de moteur dans le sol.

<b>Gasoil (G)</b>	<b>0%</b>	<b>0,125%</b>	<b>0,25%</b>	<b>0,375%</b>	<b>0,5%</b>
<b>L'huile de moteur (HM)</b>	<b>0%</b>	<b>1,25%</b>	<b>2,5%</b>	<b>3,75%</b>	<b>5%</b>

Le sol dosé est mis dans des pots (de 20 cm de hauteur et 15 cm de diamètre) de 2,5 kg/pot, à fond tapissé d'une couche de graviers pour assurer le drainage.

### 7. Germination

Dans le but de déterminer les effets des hydrocarbures (le gasoil et l'huile de moteur) sur la germination des graines de l'orge *Hordeum vulgare* et du soja *Glycine max*, un essai de germination a été effectué sous les différentes concentrations citées dans le tableau 06.

Les graines, au nombre de 10 pour chaque boîte (à 04 répétitions pour chaque dose) soit pour l'orge ou pour le soja, sont lavées à l'hypochlorite de sodium puis rincées à l'eau distillée. Elles sont ensuite mises à germer dans des boîtes de pétri de 10 cm de diamètre remplies par le sol dosé par les différentes concentrations. Les boîtes sont mises à l'obscurité dans une température ambiante avec un arrosage hebdomadaire.

Au cours de cet essai, **les paramètres étudiés** sont :

### 7.1. Taux de germination final

Le taux de germination constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration qui présente la limite physiologique de germination des graines. Il est exprimé par le rapport du nombre de graines germées sur le nombre total de graines (**Mazliak, 1982**).

$$G = (g / Ng) \times 100$$

- **G** : Taux de germination (%)
- **g** : Nombre de graines germées
- **Ng** : Nombre de graines mises à germer

### 7.2. Cinétique de germination

Pour mieux appréhender la signification écologique du comportement germinatif des graines étudiées ainsi que l'ensemble des événements qui commencent par l'étape cruciale d'absorption de l'eau par la graine (de l'orge ou du soja) et se terminent par l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule à travers les structures qui entourent l'embryon. Le nombre de graines germées est noté à 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07 et 08 jours après le début de l'expérience (**Lang, 1965**).

### 7.3. Vitesse de germination

Elle permet d'exprimer l'énergie de germination responsable de l'épuisement des réserves de la graine. La vitesse de germination est estimée par le temps moyen (**t<sub>50</sub>**) qui correspond à la germination de 50% du lot de graines (**Lang, 1965**).

### 7.4. Moyenne journalière de germination (MDG)

Elle correspond le pourcentage de germination final sur le nombre de jours à la germination finale (**Osborne et al., 1993**).

$$MDG (\%) = G / JGF$$

- **MDG (%)** : Moyenne journalière de germination
- **G (%)** : Taux de germination
- **JGF** : Nombre de jours à la germination finale

## 8. Conduite de l'expérience

### 8.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (de l'orge et du soja) adopté est en randomisation avec l'utilisation de 04 répétitions (**figure 16**).

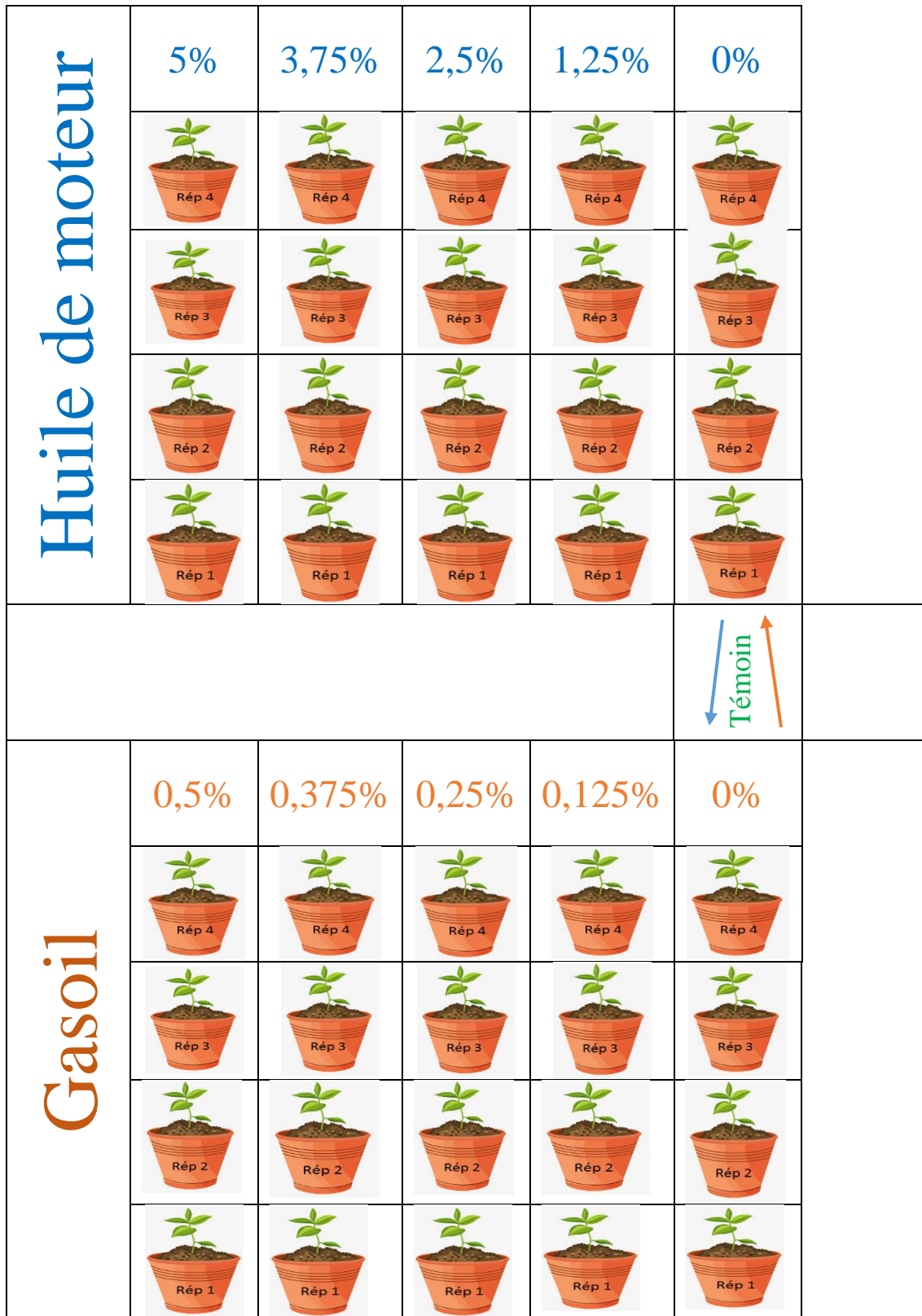


Figure 16. Dispositif expérimental de l'essai conduit sous serre.

### 8.2. Semis et conduite de l'expérience

Les graines de l'orge *Hordeum vulgare* et du soja *Glycine max* sont mises à germer directement dans les pots (à raison de 03 graines par pot) pour assurer le stress depuis le premier jour. Les mauvaises herbes qui avaient germé dans les pots ont été retirées immédiatement après leur émergence afin que leur présence n'affecte pas la croissance des plantes. Durant toute la période de l'expérimentation, une observation visuelle (de la croissance, décoloration, jaunissement, nécroses...) a été faite.

### 8.3. Arrosage

L'irrigation (avec une **CR=30%**) est entreprise 03 fois par semaine, 02 fois par l'eau de robinet (puits) et une fois entre les 02 par la solution nutritive de **Hoagland (1938)**.

**Tableau 7.** Composition chimique de la solution nutritive **Hoagland (1938)**.

Composition	Formule chimique	Poids (g) dans 1l de l'ED
Nitrate de potassium	KNO <sub>3</sub>	191.90
Nitrate de calcium	(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca,4H <sub>2</sub> O	129.80
Nitrate d'ammonium	NO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub>	210.00
Sulfate de magnésium	SO <sub>4</sub> Mg,7H <sub>2</sub> O	61.50
Phosphate mono potassique	PO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> K	54.40
Hydrogénophosphate-dipotassium	PO <sub>4</sub> K <sub>2</sub> H,3H <sub>2</sub> O	34.23
Chlorure de manganèse	Cl <sub>2</sub> Mn,4H <sub>2</sub> O	1.80
Sulfate de cuivre	CuSO <sub>4</sub> ,5H <sub>2</sub> O	0.176
Sulfate de zinc	ZnSO <sub>4</sub> ,7H <sub>2</sub> O	0.219
Acide borique	BO <sub>3</sub> H <sub>3</sub>	2.861
Molybdate d'ammonium	MO <sub>7</sub> O <sub>24</sub> (NH <sub>4</sub> ),7H <sub>2</sub> O	0.285
Complexe ferrique (EDTA ferrique)	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> FeN <sub>2</sub> NaO <sub>8</sub>	0.050

### 9. La récolte des plantes

La récolte des plantes a lieu au bout de 75 jours pour le soja *Glycine max* et de 90 jours pour l'orge *Hordeum vulgare* lorsque les individus avaient atteint le stade de fructification.

Les racines sont lavées soigneusement, les deux parties (aérienne et racinaire) ont été séparées et séchées dans l'étuve pendant 03 jours à température de 80 °C, puis broyées à une poudre fine pour faire les paramètres concernés.

## 10. Paramètres étudiés

Le calcul des paramètres a été effectué depuis la première semaine du semis.

### 10.1. Paramètres morphologiques et biométriques

Les effets phytotoxiques sur les plantes étudiées sont mis en évidence par l'évaluation des paramètres suivants :

#### 10.1.1. Cinétique de longueur

La longueur des plantes a été effectuée, par centimètre (cm), chaque 07 jours depuis la première semaine jusqu'à la plante cesse de grandir.

#### 10.1.2. Cinétique de nombre de feuilles

Le nombre de feuilles est calculé chaque 07 jours depuis la première semaine de repiquage jusqu'au le nombre a cessé d'augmenter.

#### 10.1.3. Cinétique de nombre de talles (pour l'orge)

La même chose a été effectuée pour le nombre de talles où on a fait le calcul depuis la première semaine.

#### 10.1.4. Surface foliaire

Pour déterminer la surface foliaire formée, on a choisi aléatoirement trois feuilles par plante. Ainsi, la surface foliaire (**S**) est déterminée selon la formule décrite par **Bezzala, (2005)** comme suivant :

$$S = (\pi \times a \times b) / 4$$

- **S** : surface foliaire en (cm<sup>2</sup>)
- **π** : 3,14
- **a** : la longueur de limbe en (cm)
- **b** : la largeur de limbe en (cm).

Ainsi, la surface foliaire totale (**SFT**) en cm<sup>2</sup>, est déduite selon la formule suivante :

$$SFT = S \times N$$

- **SFT** : surface foliaire totale en (cm<sup>2</sup>)
- **S** : surface foliaire en (cm<sup>2</sup>)
- **N** : nombre moyen des feuilles par plante

### 10.1.5. Longueur aérienne, racinaire et totale

La hauteur des tiges et racines, de chaque plante, est mesurée à la fin de l'expérience après traitement et exprimée en (cm) à l'aide d'une règle graduée.

### 10.1.6. Poids aérien, racinaire et totale

#### 10.1.6.1. Poids frais aérien, racinaire et totale

Après la récolte, le poids en (g), aérien, racinaire et total de chaque plante a été effectué à l'aide d'une balance.

#### 10.1.6.2. Poids sec aérien, racinaire et totale

Après le passage à l'étuve durant 72 heures à 80 °C, les parties aériennes et racinaires ont été pesées pour effectuer le poids sec.

### 10.1.7. Nombre de cornes (ou épis)

Dans la fin de notre expérimentation, on a calculé le nombre de cornes pour le soja *Glycine max* et le nombre d'épis pour l'orge *Hordeum vulgare* pour connaître la capacité de la plante à produire des fruits sous la pression des hydrocarbures.

## 10.2. Paramètres physiologiques

### 10.2.1. Teneur relative en eau TRE (RWC)

La teneur relative en eau (RWC) est déterminée par le pourcentage d'eau présent dans la feuille (Barrs et Weatherley, 1962 ; Scippa *et al.*, 2004). Cette méthode consiste à couper les feuilles à la base de limbe puis de peser ces feuilles (poids frais  $P_F$ ), l'extrémité sectionnée est trempée dans des tubes contenant de l'eau distillée et portée à l'obscurité à 04 °C pendant 24 heures afin d'obtenir un taux maximal de réhydratation. La feuille est retirée et passée dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface puis pesée à nouveau pour déterminer le poids à saturation (poids en pleine turgescence  $P_T$ ). Chaque échantillon est ensuite mis à sécher à l'étuve pendant 48 heures à 80 °C puis pesée une dernière fois (poids sec  $P_S$ ).

La teneur relative en eau (RWC) est calculée selon la formule de Clarke et Mc-caig, 1982.

$$RWC (\%) = [(P_F - P_S) / (P_T - P_S)] \times 100$$

- **P<sub>F</sub>** : Poids Frais
- **P<sub>T</sub>** : Poids en Turgescence
- **P<sub>S</sub>** : Poids Sec

### 10.2.2. Taux de déperdition d'eau (RWL)

La perte d'eau par transpiration (RWL) est évaluée selon la méthode de **Clarke et al., 1989**. Les feuilles sont coupées à la base de limbe et trempées dans des tubes à essai remplis d'eau distillée et portées à l'obscurité pendant 24 heures pour peser le poids de turgescence initiale (**P<sub>I</sub>**). Ensuite, elles sont placées sur une pailleasse au laboratoire à température ambiante. Les feuilles sont pesées à trois temps différents : après 30 min (**RWL<sub>30</sub>**), après 60 min (**RWL<sub>60</sub>**) et après 120 min (**RWL<sub>120</sub>**). Chaque feuille est mise dans l'étuve à 80 °C pendant 24 heures. Puis, on les pèse (c'est le poids sec **P<sub>S</sub>**).

Les valeurs de déperdition sont déterminées par la formule de **Monneveux, 1991**.

$$\text{RWL}_{30} = [(P_I - P_{30 \text{ min}}) / P_S] \times [1 / (S_F \times 30\text{min})]$$

$$\text{RWL}_{60} = [(P_I - P_{60 \text{ min}}) / P_S] \times [1 / (S_F \times 60\text{min})]$$

$$\text{RWL}_{120} = [(P_I - P_{120 \text{ min}}) / P_S] \times [1 / (S_F \times 120\text{min})]$$

- **RWL** : exprimée en g / (cm<sup>2</sup> x min)
- **P<sub>I</sub>** : Poids initiale (de turgescence)
- **P<sub>30 min</sub>** : Poids après 30 min
- **P<sub>60 min</sub>** : Poids après 60 min
- **P<sub>120 min</sub>** : Poids après 120 min
- **P<sub>S</sub>** : Poids sec
- **S<sub>F</sub>** : surface foliaire

### 10.2.3. Matière sèche (MS)

Les plantes sont retirées et rincées de tous déchets et bien essuyées en utilisant du papier buvard, ensuite on procède à leur pesée (c'est le poids total frais **P<sub>F</sub>**). Les échantillons sont ensuite mis à sécher à l'étuve à 80 °C pendant 24 heures, puis ils sont pesés (c'est le poids total sec **P<sub>S</sub>**).

La matière sèche (**MS**) a été évaluée par la formule suivante de **Afnor, 1982**.

$$\text{MS (\%)} = (P_S / P_F) \times 100$$

- **MS (%)** : Pourcentage de matière sèche
- **P<sub>S</sub>** : Poids sec
- **P<sub>F</sub>** : Poids frais

#### 10.2.4. Déficit hydrique de saturation (DHS)

Selon **Gabriel, 2008**. Le déficit hydrique est déterminé par la formule suivante :

$$\text{DHS (\%)} = [(\text{ME}_S - \text{ME}_A) / \text{ME}_S] \times 100$$

- **DHS (%)** : Déficit hydrique de saturation
- **ME<sub>S</sub>** : Masse d'eau à saturation
- **ME<sub>A</sub>** : Masse d'eau actuelle dans les tissus

### 10.3. Paramètres biochimiques

#### 10.3.1. Teneurs en pigments chlorophylliens

La teneur en chlorophylle a, chlorophylle b, chlorophylle totale a+b, et caroténoïdes / xanthophylles est déterminée selon la méthode de **Lichtenthaler, (1987)** et **Shabala et al., (1998)** au niveau de tiers médians des plus jeunes feuilles.

Pour extraire les pigments chlorophylliens, environ 100 mg de matériel végétal issu de chaque concentration, coupé en petits fragments, est mis dans un tube à essai contenant 10 ml d'acétone à 95%. L'ensemble est conservé à l'obscurité durant 48 heures à 04 °C. L'étape suivante est la lecture de la densité optique de la solution à l'aide d'un spectrophotomètre UV réglé aux longueurs d'onde suivantes : 663,6 nm et 646,6 nm pour déterminer la teneur en chlorophylle a et chlorophylle b, et 470 nm pour déterminer la teneur en caroténoïdes. L'appareil est étalonné avec la solution témoin à base d'acétone à 95%.

Les concentrations en chlorophylles a, b, totale et en caroténoïdes / xanthophylles, exprimées en mg.g<sup>-1</sup> MF, sont calculées par les équations de **Porra, (2002)**.

$$\text{Chlorophylle a (mg.g}^{-1}\text{)} = [(12,25 \times \text{DO}_{663,6}) - (2,55 \times \text{DO}_{646,6})] \cdot \text{V/M}$$

$$\text{Chlorophylle b (mg.g}^{-1}\text{)} = [(20,31 \times \text{DO}_{646,6}) - (4,91 \times \text{DO}_{663,6})] \cdot \text{V/M}$$

$$\text{Chlorophylle a+b (mg.g}^{-1}\text{)} = [(17,76 \times \text{DO}_{646,6}) + (7,34 \times \text{DO}_{663,6})] \cdot \text{V/M}$$

$$\text{Caroténoïdes (mg.g}^{-1}\text{)} = [((1000 \times \text{DO}_{470}) - (1,90 \times \text{chl a} + 63,14 \times \text{chl b})) / 214] \cdot \text{V/M}$$

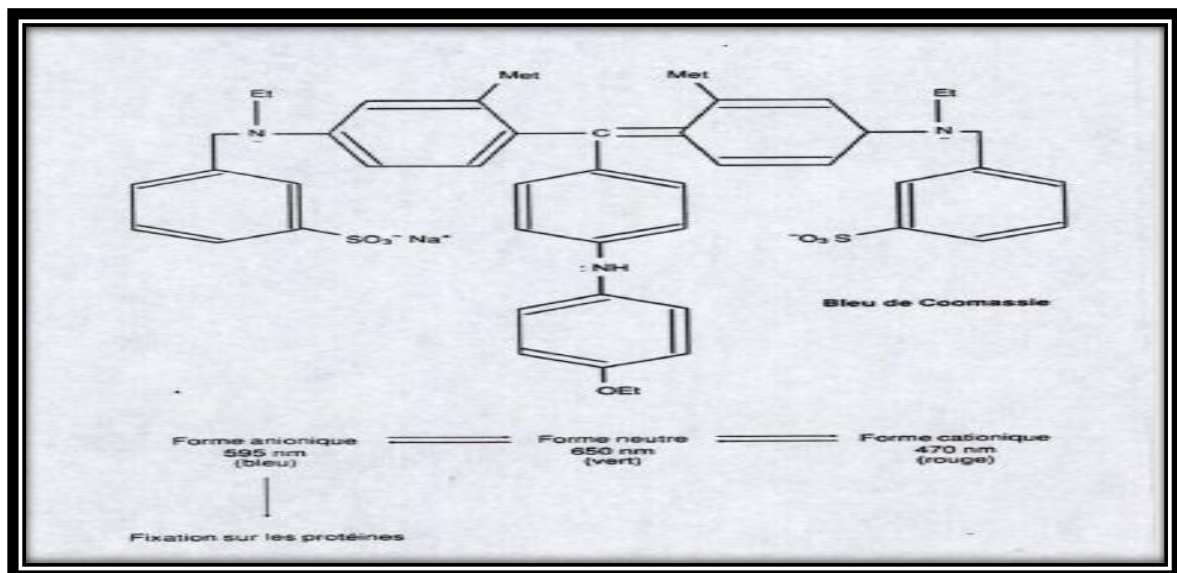
- **DO** : Densité Optique
- **Chl a** : Chlorophylle a ( $\text{mg.l}^{-1}$ )
- **Chl b** : Chlorophylle b ( $\text{mg.l}^{-1}$ )
- **V** : Volume de l'extrait total en litre (l)
- **M** : Masse de la matière fraîche en gramme (g)
- **V/M** : Indice de dilution (est l'indice de conversion de l'unité où on multiplie dans cet indice pour convertir l'unité de ( $\text{mg.l}^{-1}$ ) à ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) pour tous les paramètres étudiés au-dessous).

### 10.3.2. Teneurs en protéines totales

#### 10.3.2.1. Principe

C'est un dosage colorimétrique, basé sur le changement d'absorbance, se manifestant par le changement de la couleur du bleu brillant de Coomassie G250 (déplacement du pic d'absorption de 465 nm à 595 nm : changement de teinte du milieu qui passe du brun orangé au bleu) après liaison (complexification) avec les acides aminés basiques (arginine, histidine, lysine) et les résidus hydrophobes des acides aminés présents dans la ou les protéines.

Ce colorant existe sous trois formes (anionique, neutre, cationique) ayant chacune un spectre d'absorption caractéristique. C'est la forme anionique qui interagit (de manière non covalente) préférentiellement avec les protéines. La fixation du bleu de Coomassie se réalise si la molécule à évaluer comporte des groupements fonctionnels basiques et/ou aromatiques. Le changement d'absorbance est proportionnel à la quantité de colorant lié, indiquant donc la concentration en protéines dans l'échantillon (**Bradford, 1976**).



**Figure 17.** Principe de fixation de bleu de Coomassie dans la méthode de **Bradford (1976)**.

### 10.3.2.2. Protocole

La méthode retenue pour le dosage des protéines totales est celle de **Bradford (1976)** qui utilise le BSA (Sérum d'Albumine de Bovin) comme standard.

Cette méthode consiste à prendre 100 mg de matériel végétal, chaque échantillon est broyé, à l'aide d'un mortier, avec 05 ml de l'eau distillée. La solution obtenue est filtrée et versée dans un tube à essai contenant 05 ml de l'eau distillée.

Pour le dosage, on prend 0,2 ml de réactif de Bradford avec 0,2 ml de la solution à analyser et 1,6 ml de l'eau distillée, le tout est bien agité avec le vortex. L'étalonnage de l'appareil s'effectue en prenant 0,2 ml de réactif de Bradford avec 1,6 ml de l'eau distillée. Après 05 minutes à 01 heure, on procède à la lecture de l'absorbance à 595 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV.

La quantité des protéines totales est déterminée à partir de l'équation suivante existant dans la courbe d'étalonnage (**annexe 01 / figure I**) :

$$Y = 0,341 X + 0,004$$

- Avec  $R^2 = 0,996$
- **Y** : valeur de l'absorbance (DO)
- **X** : quantité des protéines totales ( $\text{mg.l}^{-1}$ )

### 10.3.3. Teneurs en sucres solubles

#### 10.3.3.1. Principe

Le dosage des sucres réducteurs est effectué par la méthode de phénol/acide sulfurique dont le principe repose sur la réaction suivante : l'acide sulfurique concentré provoque, à chaud, le départ de plusieurs molécules d'eau à partir des oses. Cette déshydratation s'accompagne par la formation d'un hydroxy-méthylfurfural (HMF) dans le cas des hexoses et d'un furfural dans le cas des pentoses. Ces composés se condensent avec le phénol pour donner des complexes colorés (chromophores jaunes-orangés). Leur apparition est suivie en mesurant l'augmentation de la densité optique à 485-490 nm (**Linden et Lorient, 1994**).

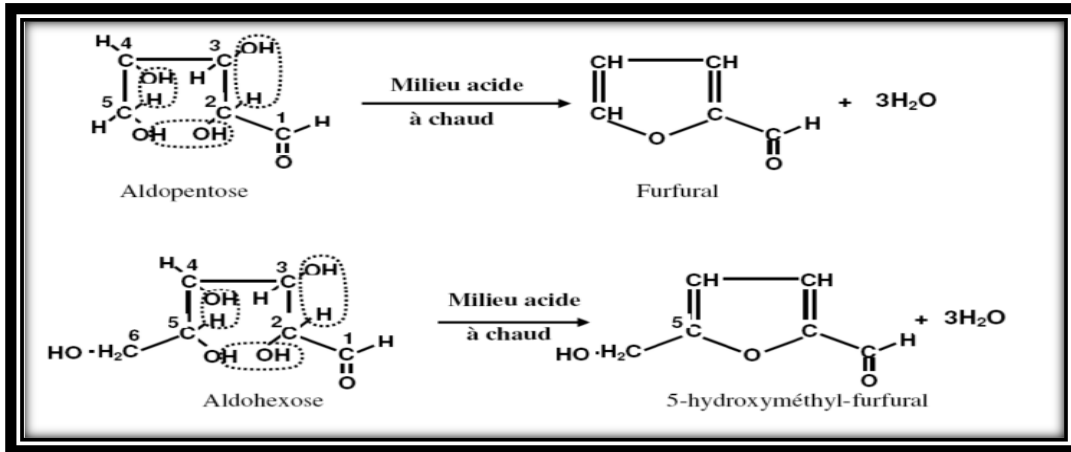


Figure 18. Formation des composés furfuraliques en milieu acide (Linden et Lorient, 1994).

### 10.3.3.2. Protocole

Les sucres solubles totaux (glucose, fructose, saccharose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode de **Dubois *et al.*, 1956**.

La méthode consiste à prendre 100 mg (de chaque concentration) de matériel végétal dans des tubes à essai. Aux quels, on ajoute 03 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres totaux, et on laisse pendant 48 heures à température ambiante.

Au moment du dosage, les solutions sont passées dans l'étuve durant 30 min à 80 °C pour évaporer l'alcool. Quand les tubes sont refroidis, on met 02 ml de la solution à analyser dans des tubes en verre propres, et on ajoute 01 ml de phénol 5%. Rapidement, on ajoute 05 ml d'acide sulfurique concentré 96% en évitant de verser l'acide contre les parois (car la réaction est exothermique). On obtient une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur. On laisse les tubes 10 min avant de les placer au bain marie à 30 °C pendant 20 min. Les solutions sont procédées à la lecture de l'absorbance à 485 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV. L'appareil est étalonné avec une solution témoin à base de 02 ml d'éthanol à 80%, 01 ml de phénol 5% et 05 ml d'acide sulfurique concentré 96%.

La quantité des sucres solubles est déterminée à partir de l'équation suivante existant dans la courbe d'étalonnage (**annexe 01 / figure II**) :

$$Y = 1,7807 X - 0,0409$$

- Avec  $R^2 = 0,993$
- **Y** : valeur de l'absorbance (DO)
- **X** : quantité des sucres solubles totaux ( $mg.l^{-1}$ )

### 10.3.4. Teneurs en proline

La proline est un acide aminé impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales, elle joue un rôle d'osmoticum (Stewart et Lee, 1974). La proline serait synthétisée à partir de l'acide glutamique via l'acide 5 carboxylique 1 pyrroline (P5C) mais également via l'arginine et l'ornithine (Lignowski et Slittstoesser, 1971).

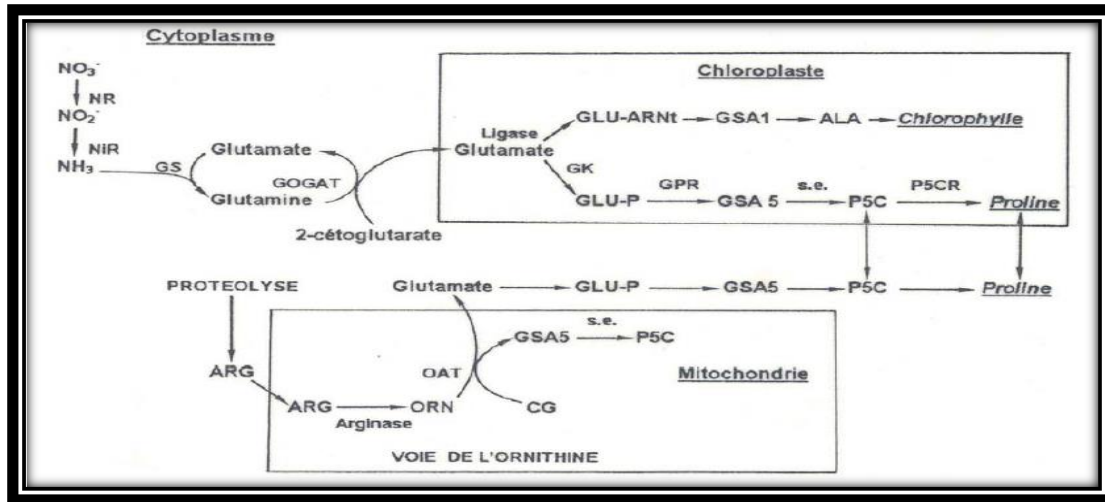


Figure 19. Voies de biosynthèse de la chlorophylle et de la proline (Lignowski et Slittstosser, 1971).

#### 10.3.4.1. Protocole

La proline est quantifiée selon la technique de Troll et Lindsley (1955) simplifiée et mise au point par Dreier (1978) et modifiée par Monneveux et Nemmar (1986).

La méthode consiste à peser 100 mg de chaque concentration et placer dans un tube à essai. Un volume de 02 ml de méthanol à 40% est ajouté à l'échantillon et le tout est chauffé à 85 °C dans un bain marie durant 60 min (pour éviter la volatilisation de l'alcool, les tubes sont fermés hermétiquement pendant le chauffage).

Après refroidissement, on prélève 01 ml de la solution d'extraction auquel on ajoute : 01 ml d'acide acétique et 01 ml du réactif préparé par un mélange (contenant 120 ml de l'eau distillé, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide orthophosphorique et 25 mg de ninhydrine). Le mélange est porté à ébullition dans un bain marie à 100 °C durant 30 min, puis refroidi et additionné de 05 ml de toluène, ce qui permet, après agitation au vortex, de distinguer 02 phases : une supérieure organique contenant la proline et autre inférieure aqueuse sans proline. La phase supérieure est récupérée et déshydratée par l'ajout d'une spatule de sulfate de sodium anhydre. La mesure de l'absorbance est effectuée à 528 nm par l'utilisation d'un spectrophotomètre UV. L'appareil est étalonné avec une solution témoin à base de 01 ml de méthanol à 40%, 01 ml d'acide acétique et 01 ml de réactif préparé de ninhydrine.

La quantification de la proline se fait d'après l'équation suivante existant dans la courbe d'étalonnage (**annexe 01 / figure III**) :

$$Y = 0,1579 X + 0,0029$$

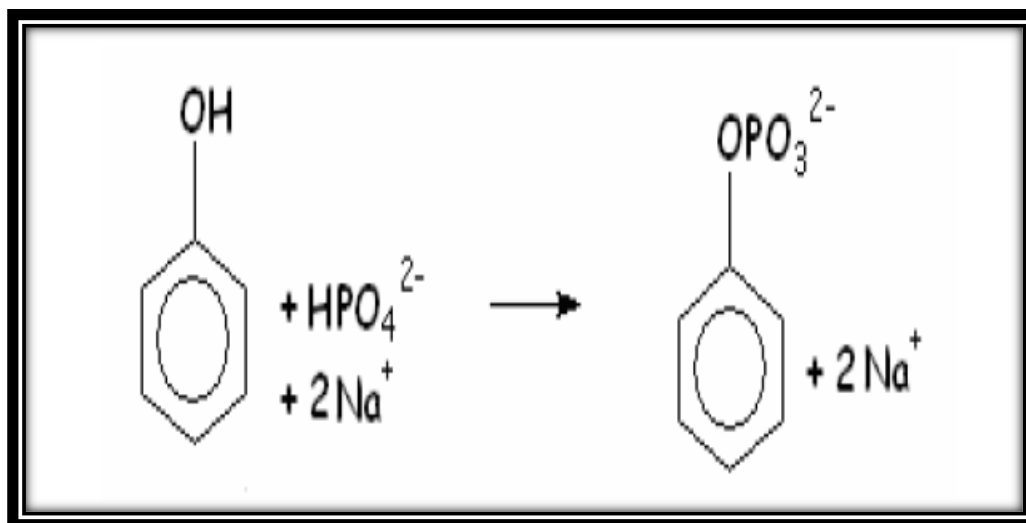
- Avec  $R^2 = 0,973$
- **Y** : valeur de l'absorbance (DO)
- **X** : quantité de la proline ( $\text{mg.l}^{-1}$ )

### 10.3.5. Teneurs en antioxydants

#### 10.3.5.1. Teneurs en polyphénols totaux

##### 10.3.5.1.1. Principe

Le réactif de Folin-Ciocalteu est un acide de couleur jaune constitué par un mélange d'acide phospho-tungstique ( $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ ) et phospho-molibdique ( $\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$ ), il est réduit par les phénols en un mélange d'oxydes métalliques bleus de tungstène ( $\text{W}_8\text{O}_{23}$ ) et de molybdène ( $\text{Mo}_8\text{O}_{23}$ ), (**Ribéreau-Gayon *et al.*, 1972**). Cette coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle aux taux de composés phénoliques présents dans le milieu donne un maximum d'absorption à 760 nm. Dans cette méthode on a utilisé l'acide gallique comme étalon.



**Figure 20.** Principe de la réduction du réactif de Folin-Ciocalteu (**Fkih, 2007**).

##### 10.3.5.1.2. Mode opératoire

Le dosage des composés phénoliques totaux dans les différents extraits a été réalisé par la méthode de Folin-Ciocalteu (**Singleton *et al.*, 1999**).

20  $\mu\text{l}$  de chaque concentration est mis dans des tubes à essai, suivi par l'addition de 1,58 ml de l'eau distillée et 100  $\mu\text{l}$  de réactif de Folin Ciocalteu (dilué 10 fois dans l'eau

distillée). L'ensemble est agité vigoureusement par le vortex puis laissé incuber durant 6 min avant d'ajouter 300  $\mu\text{l}$  de carbonate de sodium 7,5%.

Après une incubation de 02 heures à température ambiante et à l'abri de lumière, l'absorbance des solutions réactionnelles a été lue à 760 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre UV, contre un blanc préparé de la même manière sauf qu'il ne contient pas de l'extrait phénolique.

Les concentrations des polyphénols totaux sont calculées d'après l'équation suivante existant dans la courbe d'étalonnage (**annexe 01 / figure IV**) :

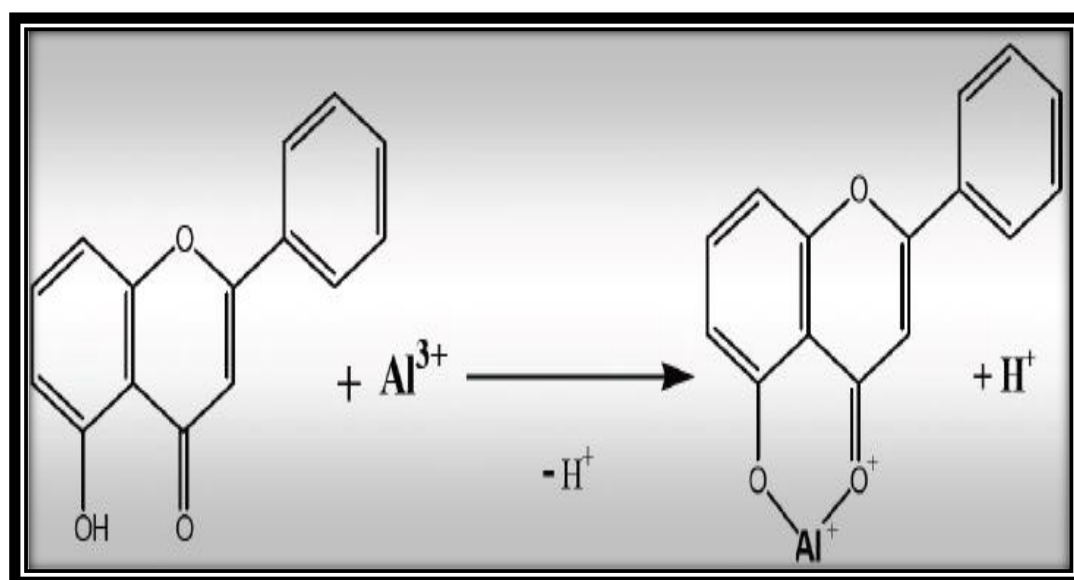
$$Y = 0,5486 X + 0,019$$

- Avec  $R^2 = 0,988$
- **Y** : valeur de l'absorbance (DO)
- **X** : quantité des phénols totaux ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )

### 10.3.5.2. Teneurs en flavonoïdes

#### 10.3.5.2.1. Principe

Les flavonoïdes possèdent un groupement OH libre, en position 5, qui est susceptible de donner avec le groupement CO un complexe coloré très stable avec ( $\text{AlCl}_3$ ). Ils forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux, ce qui traduit le fait que le métal (Al) perd 02 électrons pour s'unir à 02 atomes d'oxygène de la molécule flavonoïque agissant comme donneur d'électrons (**Ribéreau-Gayon et al., 1972**).



**Figure 21.** Mécanisme de réaction de chlorure d'aluminium avec les flavonoïdes (**Ribéreau-Gayon, 1968**).

### 10.3.5.2.2. Mode opératoire

L'estimation de la teneur en flavonoïdes totaux a été réalisée par la méthode de **Bahroun et al., 1996**.

A 01 ml de chaque extrait méthanolique, on ajoute 01 ml de solution méthanolique de chlorure d'Aluminium  $\text{AlCl}_3$  à 2%. Après incubation de 15 minutes à température ambiante, l'absorbance est lue à partir du spectrophotomètre UV à 430 nm contre un blanc représenté par le méthanol additionné d' $\text{AlCl}_3$ .

Les concentrations de flavonoïdes sont calculées d'après l'équation suivante existant dans la courbe d'étalonnage (**annexe 01 / figure V**) :

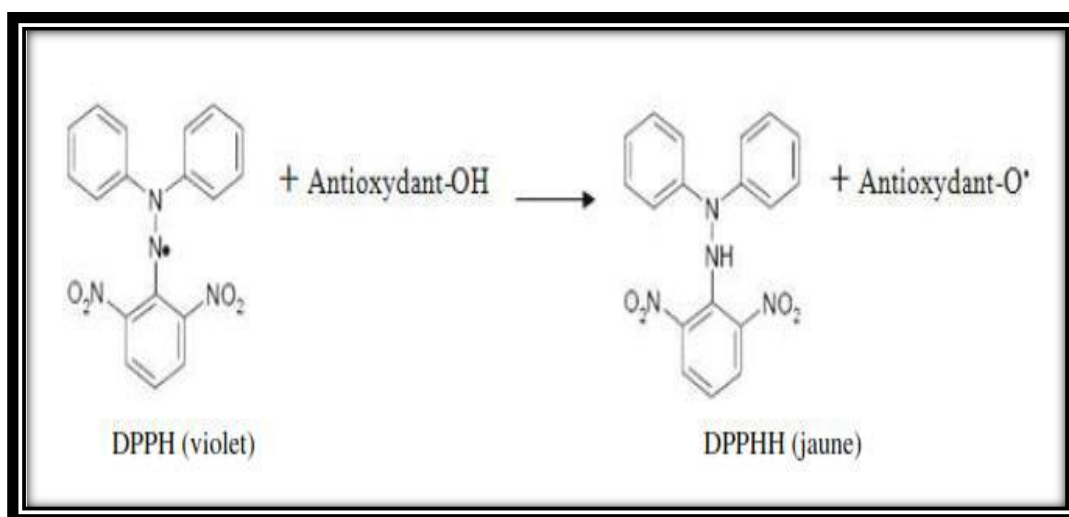
$$Y = 5,5 X + 0,01$$

- Avec  $R^2 = 0,991$
- **Y** : valeur de l'absorbance (DO)
- **X** : quantité des flavonoïdes totaux ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )

### 10.3.5.3. Test de l'activité antioxydante par l'effet scavenger du radical DPPH

#### 10.3.5.3.1. Principe

Le DPPH 2,2-diphényl-2-picryl-hydrasyle ( $\alpha,\alpha$ -diphényl- $\beta$ -picryl-hydrasyle), un radical libre, fut l'un des premiers radicaux libres utilisés pour étudier la relation structure-activité antioxydante des composés phénoliques (**Brand-Williams et al., 1995**). Il possède un électron non apparié sur un atome du pont d'azote (**Popovici et al., 2009**). En présence des piègeurs des radicaux libres (capables de céder un  $\text{H}^+$ ), le DPPH de couleur violette se réduit en 2,2-diphényl-1-picryl-hydrazine de couleur jaune (**Maataoui et al., 2006**).



**Figure 22.** Réaction de réduction de DPPH 2,2-diphényl-2-picryl-hydrasyle (**Congo, 2012**).

### 10.3.5.3.2. Mode opératoire

Le test de l'activité antioxydante au DPPH est réalisé par la méthode décrite par **Ammar et al., 2009**.

La solution de DPPH à 63,4 µM (25 mg dans 100 ml de l'éthanol à 90%) est préparée à l'avance (au moins 01 à 02 heures) car la solubilisation est difficile, et elle ne conserve pas plus de 04-05 jours à -05 °C à l'obscurité.

01 ml de chaque concentration est mis dans un tube à essai, on ajoute 01 ml de la solution éthanolique de DPPH puis on laisse incuber 30 min à l'abri de la lumière à température ambiante. Parallèlement, un témoin négatif est préparé en mélangeant 01 ml de méthanol avec 01 ml de la solution éthanolique de DPPH. L'absorbance est lue à 517 nm contre un blanc contenant de l'éthanol pur. Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard ; l'acide ascorbique dont l'absorbance a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons.

L'évaluation de l'activité antioxydante en utilisant la méthode de DPPH est exprimée en pourcentage selon la relation suivante :

$$I (\%) = [(Abs_{CN} - Abs_{EXT}) / Abs_{CN}] \times 100$$

- **I (%)** : Pourcentage de l'activité anti-radicalaire
- **Abs<sub>CN</sub>** : Absorbance du contrôle négatif
- **Abs<sub>EXT</sub>** : Absorbance de l'extrait

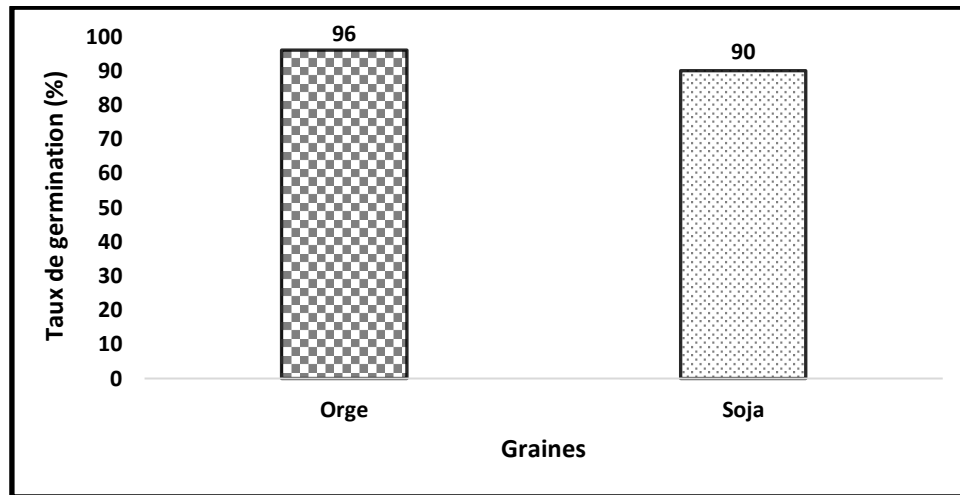
## 11. Analyses statistiques

Les analyses statistiques basées sur les tests de comparaison des moyennes, en utilisant 04 répétitions pour chaque dose, ont été appliquées à l'aide d'un logiciel STAT-BOX 6.4 par utilisation de l'analyse de variances ANOVA appelant au test Newman Keuls avec un seuil p= 5%.

## Chapitre IV : Résultats et Discussion

### 1. Pré-germination

D'après la pré-germination, les graines des deux plantes testées ont donné un taux de germination acceptable avec 90% pour le soja et 96% pour l'orge, ce qui les rend facile à l'utilisation dans notre expérience contre le gasoil et l'huile de moteur usée.



**Figure 23.** Taux de germination du soja *Glycine max* et de l'orge *Hordeum vulgare* après une pré-germination primaire de 04 jours.

### 2. Caractérisation physicochimique et biologique du substrat de culture (sol)

Les analyses sont faites au niveau de l'Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage (Laboratoire Régional Ouest des Analyses de Sols et de l'Eau situé à la route de Sidi M'hamed Benaouda El Matmar Relizane) pour bien comprendre l'état de notre substrat de culture utilisé.

#### 2.1. Caractéristiques physiques (Granulométrie)

Comme indiqué dans le **tableau 08**, le substrat de culture utilisé est un sol équilibré appartenant à la classe limon sablo-argileux. Ce type de sol n'est ni sec ni humide, il a une capacité de rétention convenable avec des conditions de passage optimales et même un pouvoir de restructuration naturelle, le rendant approprié pour l'utilisation.

**Tableau 8.** Texture du substrat de culture utilisé dans l'étude.

Caractéristiques physiques		Résultats obtenus
Texture	Argile (%)	23
	Limon (%)	4
	Sable (%)	73

## 2.2. Caractéristiques chimiques

Notre substrat, ayant un  $pH_{eau}$  de 7.03 et une conductivité électrique de 0.478 ds/m, est un sol neutre non salin (faible en sels) de qualité trophique riche, idéal pour le développement de la plupart des plantes poussant très bien dans un intervalle de pH entre 6 à 7,5. Avec une valeur inférieure de 09 meq/100g, le sol comporte une faible capacité d'échange cationique due aux faibles concentrations de cations responsables à l'adsorption avec le complexe argilo-humique où on enregistre des valeurs moins de 10 meq/100g pour tous les bases sous formes ioniques avec une supériorité de  $Ca^{++}$  (6.85 meq/100g) et  $Mg^{++}$  (6.01 meq/100g) par rapport aux  $Na^+$  (1.80 meq/100g) et  $K^+$  (0.44 meq/100g). Le taux de  $Na^+$  confirme la non salinité du sol et, en même temps, le taux de  $Ca^{++}$  est en relation avec le faible taux de carbonate de calcium ( $CaCO_3$ ) donnant un sol non calcaire (**tableau 09**).

**Tableau 9.** Caractéristiques chimiques du substrat de culture utilisé.

Caractéristiques chimiques		Résultats obtenus
pH		7.03
CE (ds/m)		0.478
CEC (meq/100g)		5.25
$CaCO_3$ (%)		0.85
Bases échangeables	$Ca^{++}$ (meq/100g)	6.85
	$Mg^{++}$ (meq/100g)	6.01
	$K^+$ (meq/100g)	0.44
	$Na^+$ (meq/100g)	1.80

## 2.3. Caractéristiques biologiques (MO)

L'analyse de notre sol donne une richesse en matière organique (4.86%), c'est une valeur assure la bonne amélioration de la cohérence des éléments structuraux, augmente l'aération du sol et participe au bon stockage des éléments nutritionnels (**Tableau 10**).

**Tableau 10.** Caractéristiques biologiques du sol utilisé (matière organique).

Caractéristiques biologiques	Résultats obtenus
Matière organique (%)	4.86

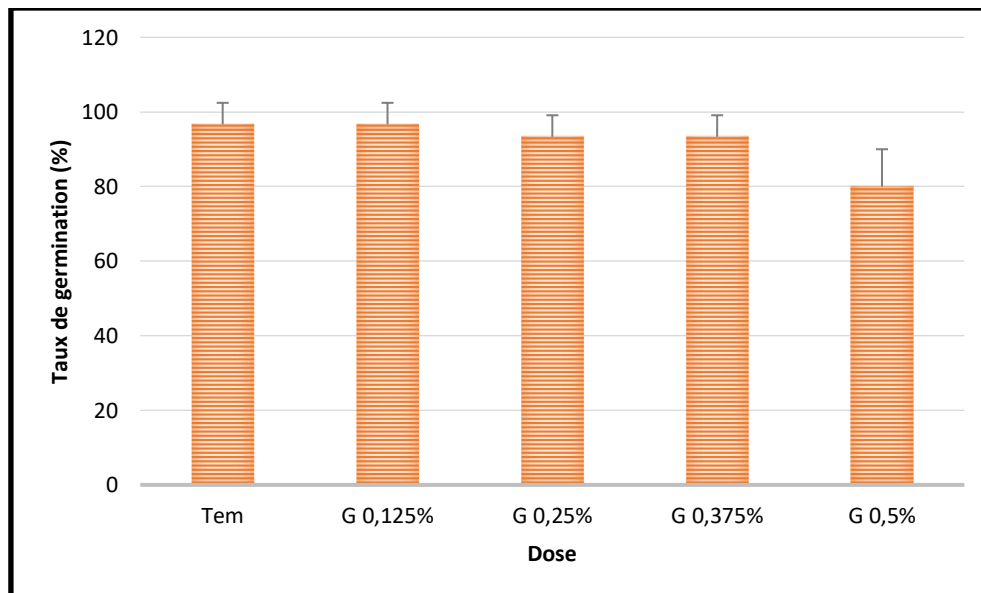
Généralement, les hydrocarbures exercent un effet dépressif, voire même inhibiteur (avec une dose élevée) sur le développement de la plante. Les travaux relatifs à la sensibilité de l'orge et le soja vis-à-vis les hydrocarbures sont rares, voire inexistants, surtout sur les paramètres physio-biochimiques, ce qui rend très complexe l'interprétation des présents résultats.

Dans les conditions de notre expérimentation, la réaction de l'orge *Hordeum vulgare* et le soja *Glycine max* vis-à-vis le gasoil et l'huile de moteur usée s'est faite par des modifications adaptatives desquelles nous retenons les éléments suivants :

### 3. Germination

#### 3.1. Effet du gasoil sur le taux de germination final de l'orge

Les résultats illustrés dans la **figure 24** montrent que, jusqu'à la dose 0.375% du gasoil, le taux de germination reste élevé et atteint  $96.66 \pm 5.77\%$  pour la dose 0.125% et  $93.33 \pm 5.77\%$  pour les deux doses 0.25% et 0.375% par rapport au témoin qui porte une valeur de  $96.66 \pm 5.77\%$ . Par contre, la dose 0.5% a un effet négatif sur la capacité germinative où le taux diminue à  $80.00 \pm 10.00\%$ .



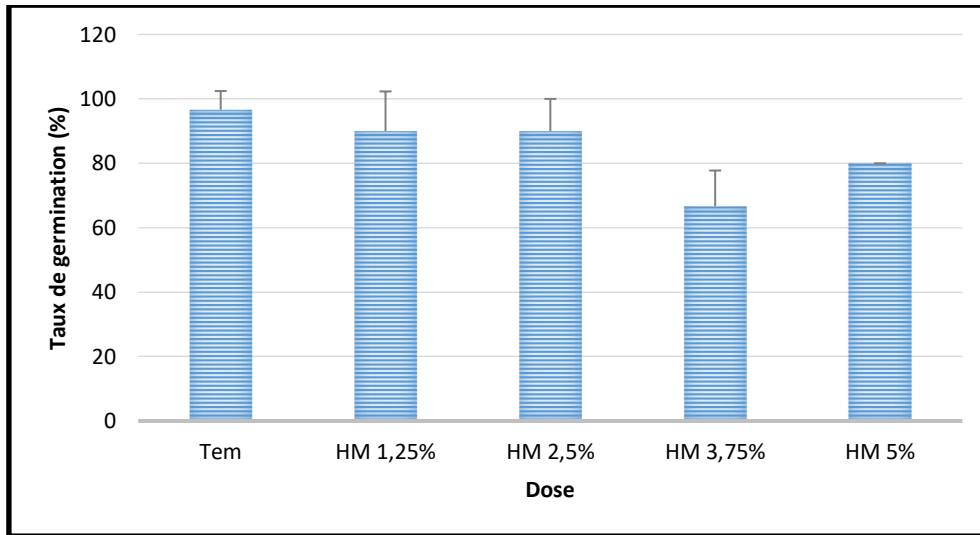
**Figure 24.** L'effet du gasoil sur le taux de germination des graines de l'orge *Hordeum vulgare* pendant 08 jours (annexe 02 / tableau 01).

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a aucun effet significatif des doses du gasoil sur le taux de germination des graines de l'orge ( $P = 0.068$ ).

#### 3.2. Effet de l'huile de moteur sur le taux de germination final de l'orge

Les concentrations de l'huile de moteur font une diminution du taux de germination des graines de l'orge (**figure 25**) de 6.66% pour les doses 1.25% et 2.5% et 16.66% pour la

dose 5%. Cet effet est bien remarqué dans la dose 3.75% où le taux descend à 30% et atteint  $66.66 \pm 11.09\%$  par rapport aux plantes témoins ( $96.66 \pm 5.77\%$ ).

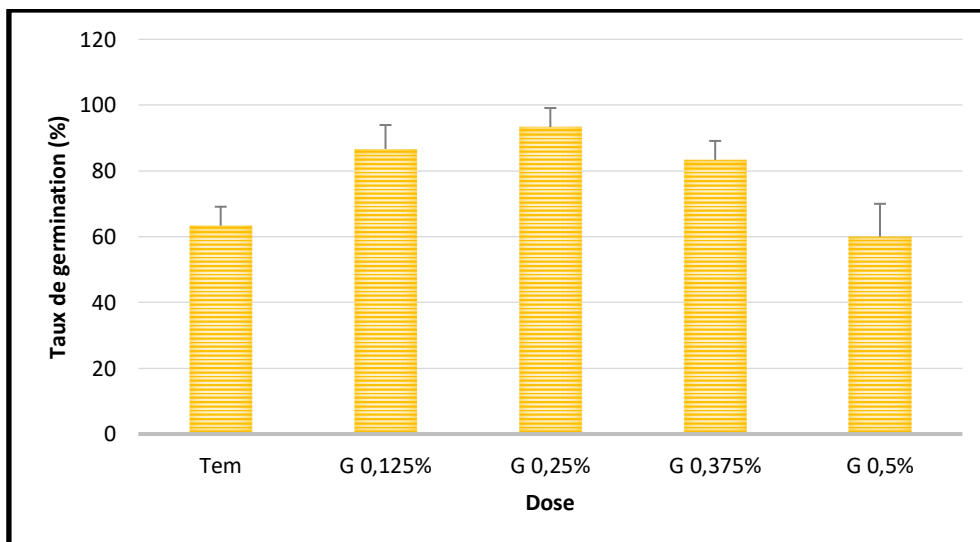


**Figure 25.** L'effet de l'huile de moteur usée sur le taux de germination des graines de l'orge *Hordeum vulgare* pendant 08 jours (annexe 02 / tableau 02).

Avec une probabilité de 15.23, l'analyse statistique révèle un effet non significatif des différentes doses de l'huile de moteur usée sur le taux de germination des graines de l'orge.

### 3.3. Effet du gasoil sur le taux de germination final du soja

D'après les résultats de la figure 26, les graines du témoin ont une faible capacité germinative où on enregistre un taux de  $63.33 \pm 5.77\%$ . En effet, les pourcentages de germination sous l'effet des doses du gasoil sont augmentés et atteints  $86.66 \pm 7.27\%$ ,  $93.33 \pm 5.77\%$ ,  $83.33 \pm 5.77\%$  respectivement dans les doses 0.125%, 0.25% et 0.375% puis diminués à  $60.00 \pm 10.00\%$  dans la dernière dose 0.5%.

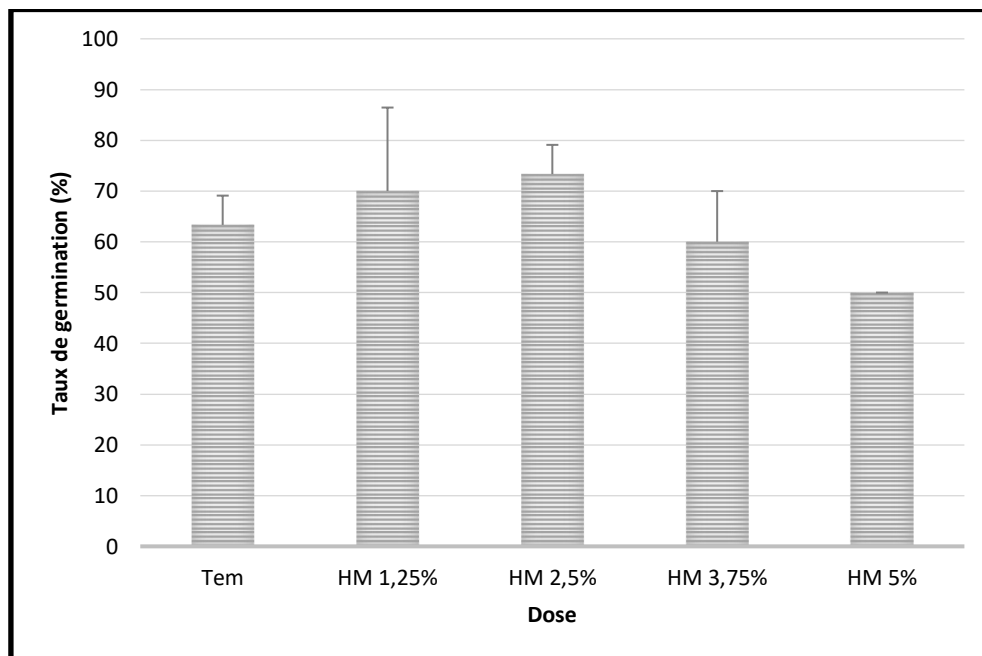


**Figure 26.** L'effet du gasoil sur le taux de germination des graines du soja *Glycine max* pendant 08 jours (annexe 02 / tableau 03).

L'analyse statistique montre un effet significatif avec l'existence de 02 groupes homogènes ; le premier (A) regroupe les doses 0.25%, 0.125% et 0.375% et le deuxième (B) assemble le témoin avec la dose 0.5%.

### 3.4. Effet de l'huile de moteur sur le taux de germination final du soja

L'huile de moteur affecte la capacité germinative positivement par les doses 1.25% et 2.5% avec +6.67% et +10% et négativement par les doses 3.75% et 5% avec -3.33% et -13.33% respectivement par rapport au taux de germination final du témoin qui enregistre un pourcentage de  $63.33 \pm 5.77\%$  (**figure 27**).

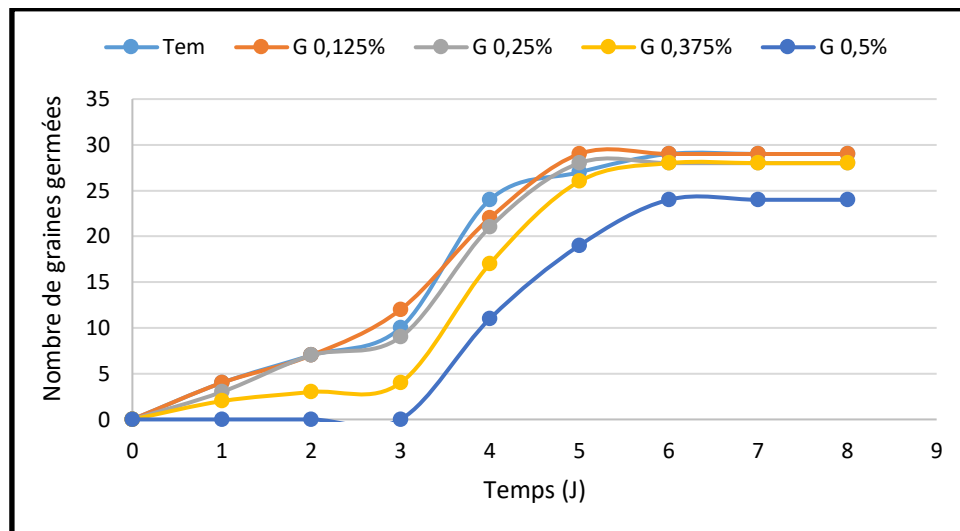


**Figure 27.** L'effet de l'huile de moteur usée sur le taux de germination des graines du soja *Glycine max* pendant 08 jours (annexe 02 / tableau 04).

D'après l'analyse statistique de l'effet des doses de l'huile de moteur usée sur le taux de germination des graines du soja, il n'y a pas un effet significatif.

### 3.5. Effet du gasoil sur la cinétique de germination de l'orge

En voie de comparaison entre les doses du gasoil (**figure 28**), on remarque que l'augmentation de la dose affecte négativement la germination des graines de l'orge, ça est apparu après 01 jour où on enregistre une germination de 04 graines dans le témoin, 02 graines dans la dose 0.375% et 00 graine dans la dose 0.5%. mais avec le temps, les graines commencent à s'adapter jusqu'à atteindre 29 graines germées dans la dose 0.125%, 28 graines germées dans les doses 0.25% et 0.375% (avec une différence de 01 graine germée par rapport au témoin) et 24 graines germées dans la dose 0.5% après 6 jours de germination.

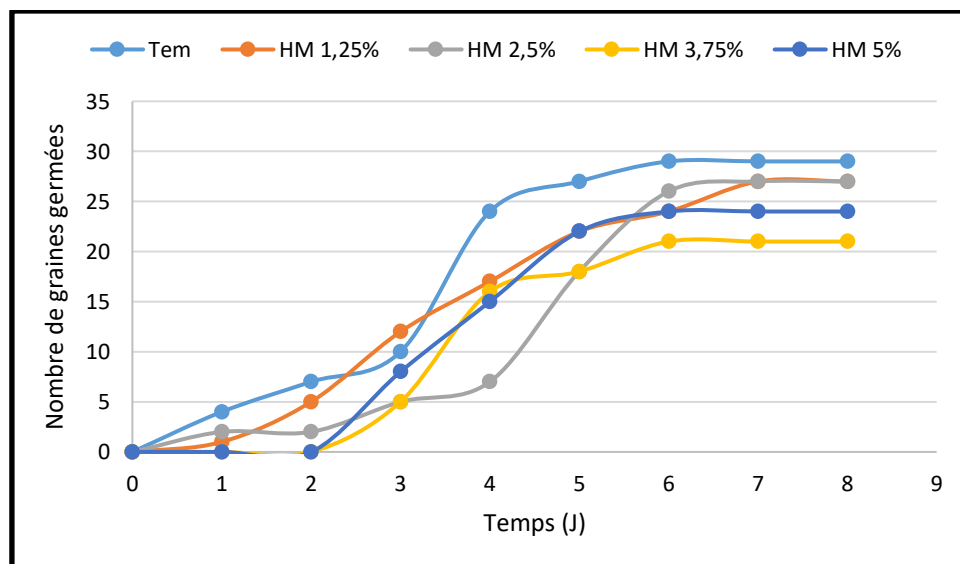


**Figure 28.** L'effet du gasoil sur la cinétique de germination des graines de l'orge *Hordeum vulgare* pendant 08 jours (annexe 03 / tableaux 05, 06, 07, 08, 09, 10).

L'analyse statistique montre que l'effet a été non significatif après 01 jour, mais devient significatif après le 2<sup>ème</sup> et le 3<sup>ème</sup> jour (les doses 0.125% et 0.25% ne sont pas significatifs avec le témoin), non significatif après 04 jours et significatif après le 5<sup>ème</sup> jour (avec 03 groupes homogènes), mais après le 6<sup>ème</sup> jour l'effet reste non significatif.

### 3.6. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de germination de l'orge

D'après les résultats de la **figure 29**, l'effet des concentrations de l'huile de moteur est significatif après le 1<sup>er</sup> jour avec la germination de 04 graines dans le témoin, 01 graine dans la dose 1.25%, 02 graines dans la dose 2.5% et 00 graine dans les 02 dernières doses. Après le 02<sup>ème</sup> jour, le nombre des graines germées augmente dans les 03 premières doses et reste nulle dans les 02 dernières, ce qui donne un effet non significatif.

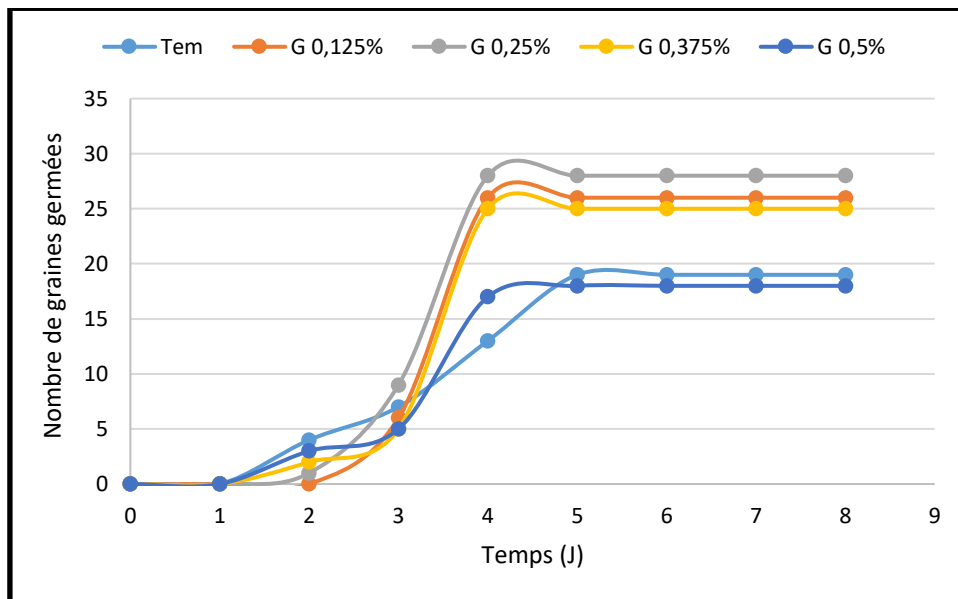


**Figure 29.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur la cinétique de germination des graines de l'orge *Hordeum vulgare* pendant 08 jours (annexe 04 / tableaux 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17).

L'effet des doses de l'huile de moteur sur les graines de l'orge reste non significatif avec le temps (03<sup>ème</sup>, 04<sup>ème</sup>, 05<sup>ème</sup>, 06<sup>ème</sup> et 07<sup>ème</sup> jour) où la convergence des valeurs de germination des graines augmente jusqu'à l'arrivée à 29, 27, 27, 21 et 24 graines germées respectivement de la petite dose à la grande dose (0%, 1.25%, 2.5%, 3.75% et 5%).

### 3.7. Effet du gasoil sur la cinétique de germination du soja

L'étude de l'évolution de la capacité germinative des graines du soja sous l'effet des doses du gasoil (**figure 30**) montre un effet négatif dans les deux (02) premiers jours (avec 00 graine germée après 01 jour dans toutes les doses et de 00 à 03 graines après 02 jours contrairement au témoin qui porte 04 graines germées). Cet effet est inversé après le 03<sup>ème</sup> jour où on remarque que la capacité germinative est agrandie dans toutes les doses pressantes arrivant à 26, 28 et 25 dans les concentrations 0.125%, 0.25% et 0.375% par rapport au témoin qui s'arrête à 19 graines germées.



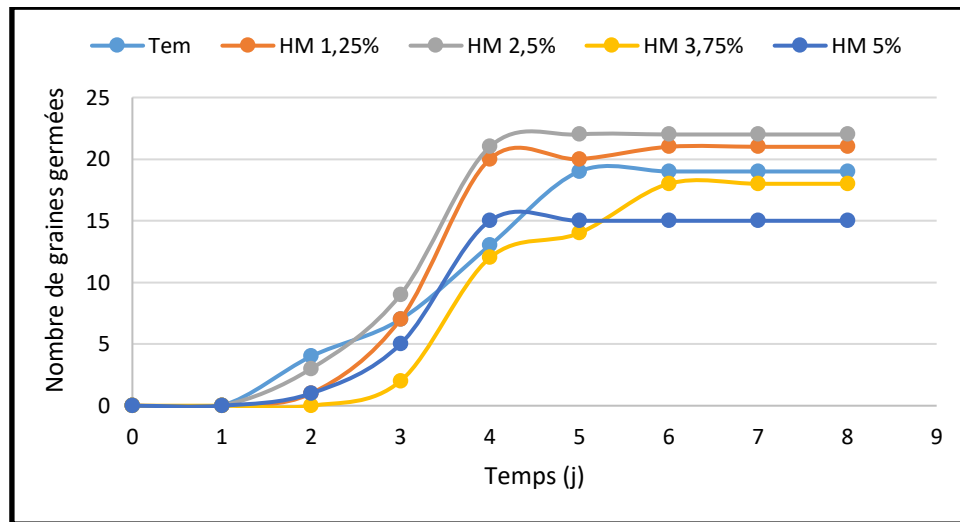
**Figure 30.** L'effet du gasoil sur la cinétique de germination des graines du soja *Glycine max* pendant 08 jours (annexe 05 / tableaux 18, 19, 20, 21).

L'analyse statistique donne un effet non significatif jusqu'au 03<sup>ème</sup> jour ; après ça, l'effet est devenu significatif avec l'existence de 02 groupes homogènes ; les doses 0.25%, 0.125% et 0.375% prennent le groupe (A) et le témoin avec la dose 0.5% (qui ne sont pas significatifs entre eux) sont dans le groupe (B).

### 3.8. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de germination du soja

D'après la **figure 31** ; une augmentation germinative est observée, au-dessous de la capacité germinative du témoin, dans les doses 3.75% et 5% depuis le 1<sup>er</sup> jour jusqu'au dernier jour de germination. Parallèlement à cet effet pressant, l'évolution dans les doses

1.25% et 2.5% est au-dessus de la dose 0% (ayant 19 graines dans le dernier jour) et atteinte respectivement 21 et 22 graines à la fin de la germination.

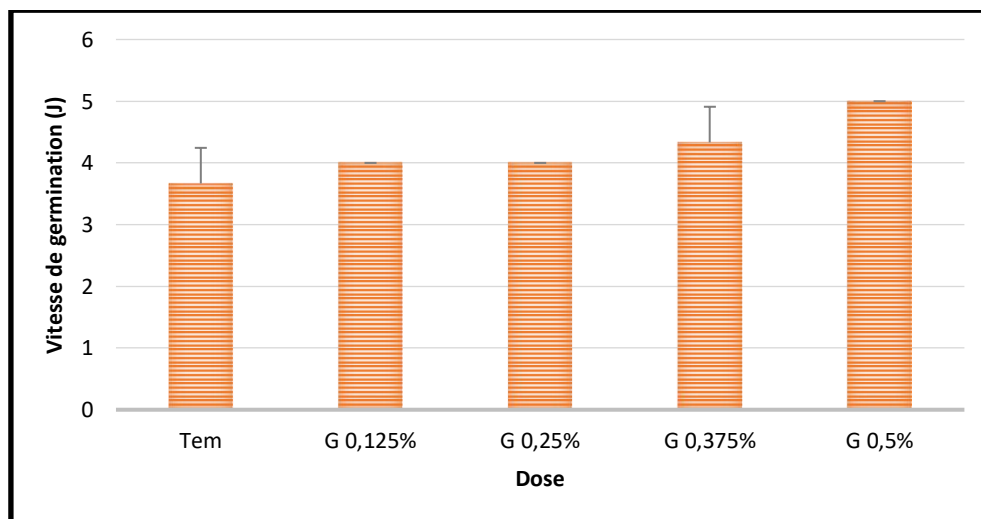


**Figure 31.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur la cinétique de germination des graines du soja *Glycine max* pendant 08 jours (annexe 06 / tableaux 22, 23, 24, 25, 26).

Dans le 2<sup>ème</sup> et le 3<sup>ème</sup> jour, l'analyse statistique montre un effet significatif des doses de l'huile avec l'obtention de 03 groupes homogènes où le témoin est dans le groupe (A) et (AB) respectivement. Après ce jour, il n'y a pas un effet significatif dans toutes les doses de l'huile de moteur utilisée sur la capacité germinative des graines du soja.

### 3.9. Effet du gasoil sur la vitesse de germination de l'orge

La vitesse de germination (**figure 32**) est augmentée proportionnellement avec la dose posée du gasoil donnant une valeur de  $3.66 \pm 0.57$  J dans le témoin, montant à  $4.00 \pm 0.00$  J dans les doses 0.125% et 0.25%,  $4.33 \pm 0.57$  J dans la concentration 0.375% et arrivant à  $5.00 \pm 0.00$  J dans la dernière concentration 0.5%.

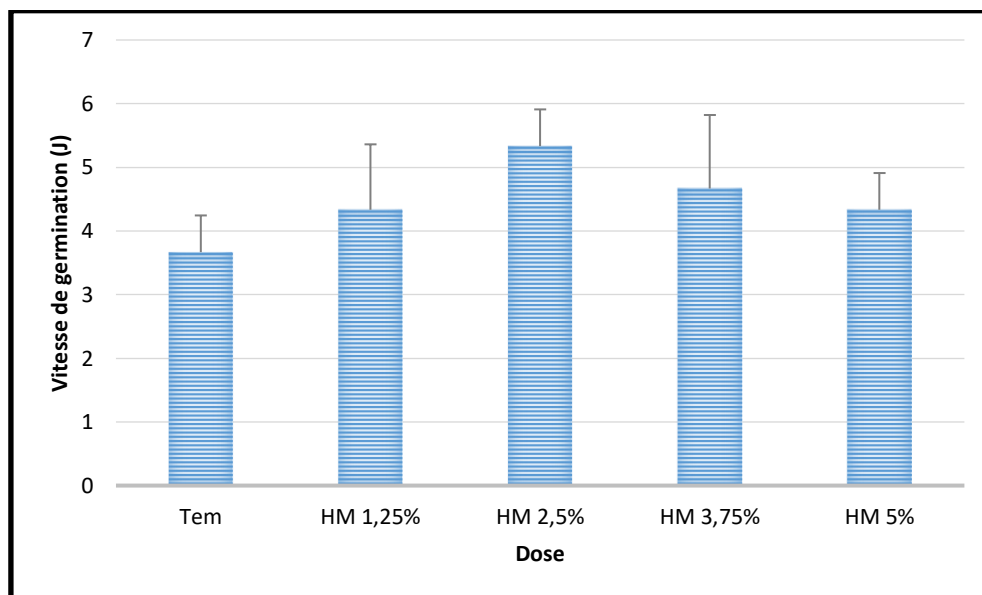


**Figure 32.** L'effet du gasoil sur la vitesse de germination des graines de l'orge *Hordeum vulgare* pendant 08 jours (annexe 07 / tableau 27).

L'analyse des résultats relatifs à l'effet des concentrations du gasoil sur la vitesse de germination des graines de l'orge montre un effet significatif séparant la dose 0.5% (portée dans le premier groupe homogène) des autres doses, incluant le témoin, qui sont dans le deuxième groupe homogène (B).

### 3.10. Effet de l'huile de moteur sur la vitesse de germination de l'orge

Les résultats illustrés sur **la figure 33** montrent un effet négatif sur la vitesse de germination des graines de l'orge où on enregistre une augmentation de la durée de germination de 50% des graines (par jour) sous l'effet de l'huile qui atteint  $5.33 \pm 0.57$  J dans la dose 2.5% et  $4.66 \pm 1.15$  J dans la dose 3.75% par rapport au témoin ( $3.66 \pm 0.57$  J).



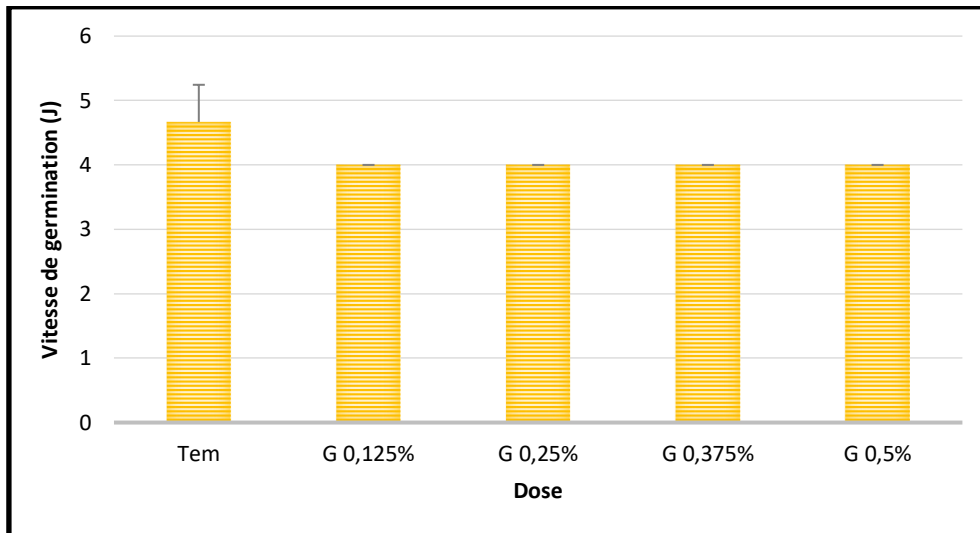
**Figure 33.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur la vitesse de germination des graines de l'orge *Hordeum vulgare* pendant 08 jours (annexe 07 / tableau 28).

L'analyse statistique, basée sur le test de Newman Keuls, ne montre aucun effet significatif des différentes concentrations de l'huile de moteur sur la vitesse de germination des graines de l'orge.

### 3.11. Effet du gasoil sur la vitesse de germination du soja

Les résultats de **la figure 34** montrent que l'effet du gasoil semble avoir été de nature à modifier la vitesse de germination des graines du soja. En effet, une diminution de la durée ( $t_{50}$ ) atteinte à 14.16% est remarquée dans les différentes doses par rapport à la dose 0% enregistrant une valeur de  $4.66 \pm 0.57$  J.

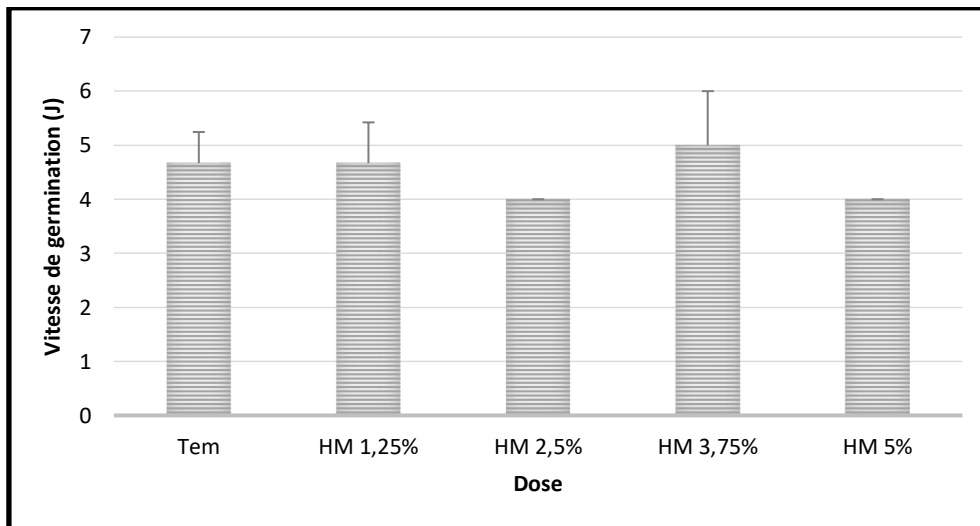
D'après l'analyse statistique, les concentrations du gasoil ont un effet significatif ( $P = 0.03$ ) sur la vitesse de germination des graines du soja.



**Figure 34.** L'effet du gasoil sur la vitesse de germination des graines du soja *Glycine max* pendant 08 jours (annexe 07 / tableau 29).

### 3.12. Effet de l'huile de moteur sur la vitesse de germination du soja

Pour l'huile de moteur usée (**figure 35**), il n'y a pas un effet apparent puisque la vitesse de germination des graines du soja varie de  $4.66 \pm 0.57$  J pour le témoin et de  $4.00 \pm 0.00$  J jusqu'à  $5.00 \pm 1.00$  J pour les autres concentrations posées.



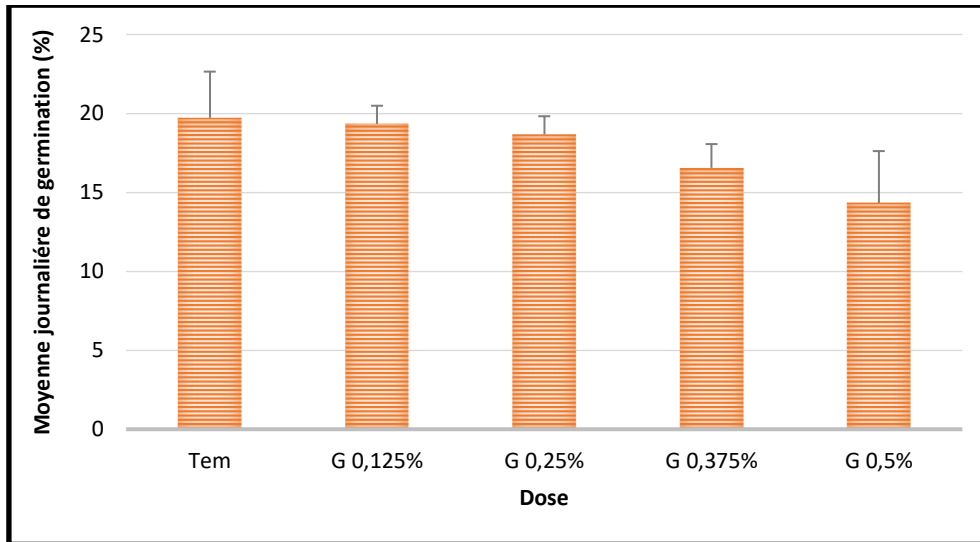
**Figure 35.** L'effet de l'huile de moteur usée sur la vitesse de germination des graines du soja *Glycine max* pendant 08 jours (annexe 07 / tableau 30).

L'analyse statistique ne révèle aucun effet significatif des doses de l'huile de moteur sur la durée de germination de 50% des graines du soja.

### 3.13. Effet du gasoil sur la moyenne journalière de germination (MDG) de l'orge

Comme indiquées dans **la figure 36**, l'augmentation des doses du gasoil exerce une influence proportionnelle négative sur la valeur de la moyenne journalière de germination des graines de l'orge avec l'obtention de la valeur supérieure dans la dose 0% ( $19.72 \pm 2.92\%$ )

et la valeur inférieure dans la dose 0.5% ( $14.33 \pm 3.23\%$ ), ce qui signifie une diminution de 5.39%.

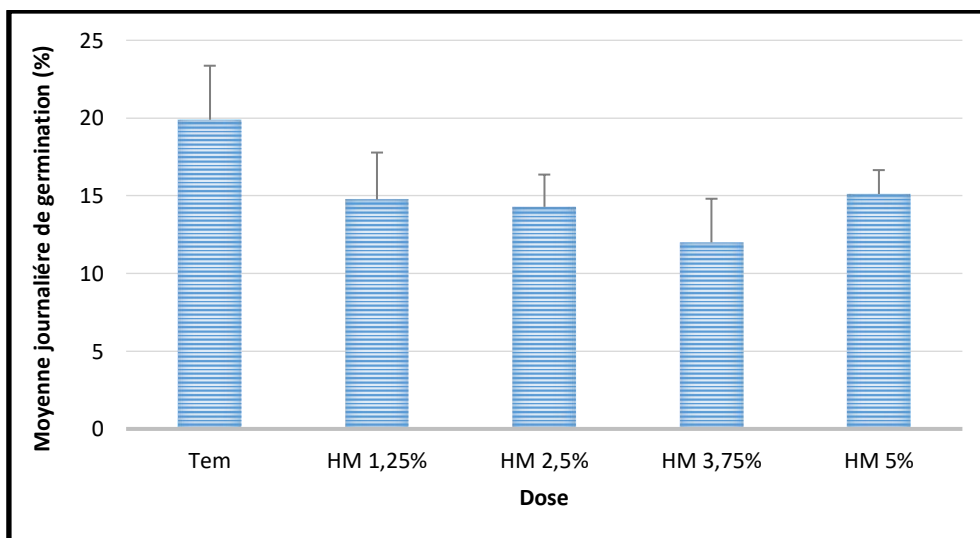


**Figure 36.** L'effet du gasoil sur la moyenne journalière de germination des graines de l'orge *Hordeum vulgare* pendant 08 jours (annexe 08 / tableau 31).

L'analyse statistique ne donne aucun effet significatif des concentrations du gasoil sur la moyenne journalière de germination des graines de l'orge.

### 3.14. Effet de l'huile sur la moyenne journalière de germination (MDG) de l'orge

Selon les résultats obtenus (**figure 37**), l'évolution de la moyenne journalière de germination est inversement proportionnelle (sauf la dose 5%) selon l'augmentation des doses de l'huile de moteur où on remarque une réduction allant de 4.96% (chez la dose 1.25%) et arrivant à 7.72% (chez la dose 3.75%) par rapport au témoin qui enregistre une valeur de  $19.72 \pm 2.92\%$ .

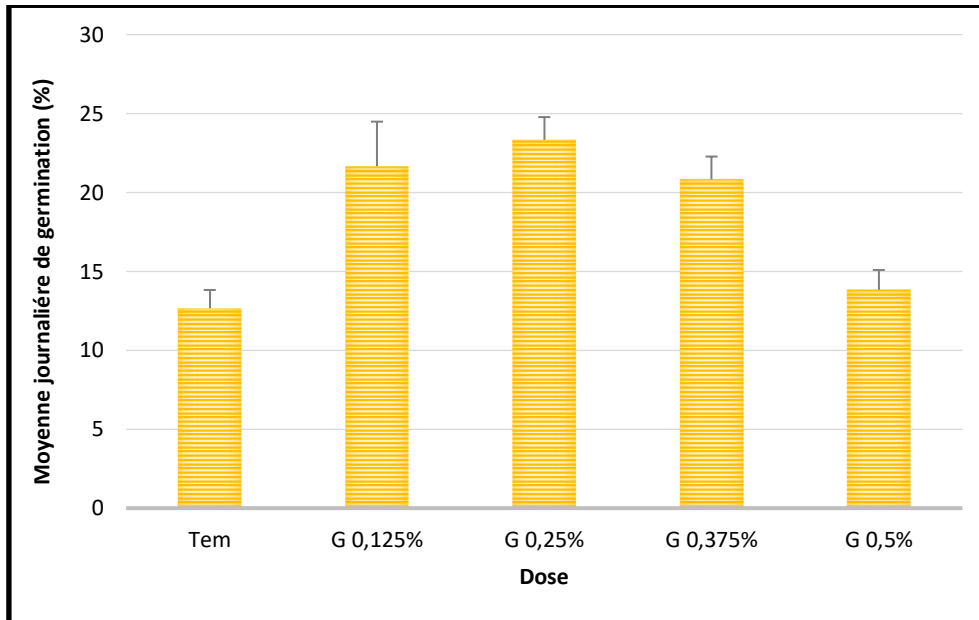


**Figure 37.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur la moyenne journalière de germination des graines de l'orge *Hordeum vulgare* pendant 08 jours (annexe 08 / tableau 32).

D'après l'analyse de la variance ANOVA, on ne remarque pas un effet significatif des différentes doses de l'huile de moteur.

### 3.15. Effet du gasoil sur la moyenne journalière de germination (MDG) du soja

L'analyse des résultats relatifs à l'effet des doses du gasoil sur la moyenne journalière de germination des graines du soja (**figure 38**) montre l'existence d'un effet hautement significatif. Les valeurs augmentent de  $12.66 \pm 1.15\%$  (témoin) jusqu'à  $23.33 \pm 1.44\%$  (la dose 0.25%) puis reviennent à diminuer à  $13.83 \pm 1.25\%$  (la dose 0.5%).



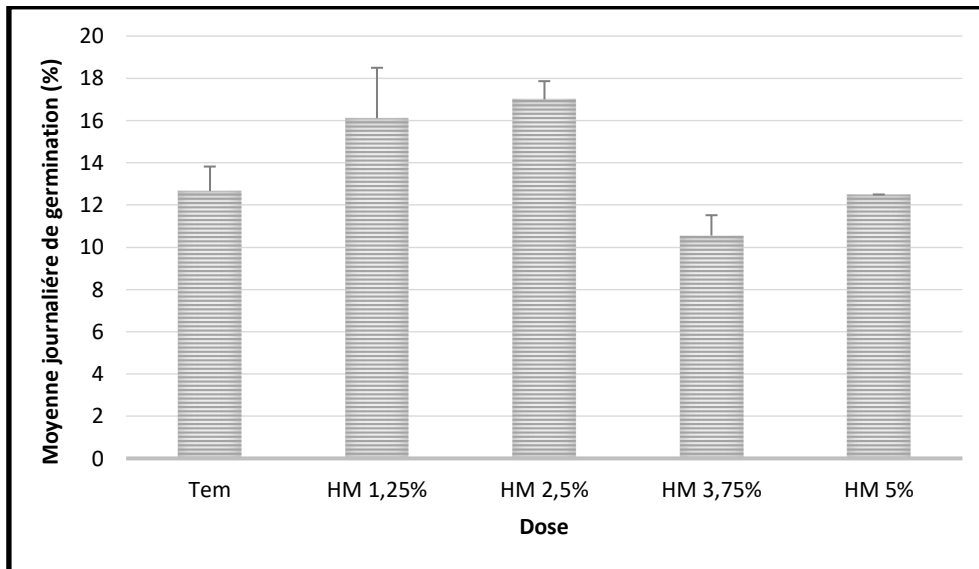
**Figure 38.** L'effet du gasoil sur la moyenne journalière de germination des graines du soja *Glycine max* pendant 08 jours (annexe 08 / tableau 33).

L'analyse statistique révèle 02 groupes homogènes où les trois doses 0.25%, 0.125% et 0.375% sont regroupées dans le groupe (A) et le témoin avec la dose 0.5% sont portés dans le groupe homogène (B).

### 3.16. Effet de l'huile de moteur sur la moyenne journalière de germination (MDG) du soja

Les résultats de **la figure 39** montrent une augmentation dans la moyenne journalière de germination dans les deux doses 1.25% et 2.5% respectivement avec 3.45% et 4.34% puis une diminution de 2.11% et 0.11% dans les deux dernières doses 3.75% et 5% par rapport à la dose 0% enregistrant une valeur de  $12.66 \pm 1.15\%$ .

Pour l'analyse statistique, on ne remarque aucun effet significatif des doses de l'huile de moteur usée sur la moyenne journalière de germination des graines du soja.



**Figure 39.** L'effet de l'huile de moteur usée sur la moyenne journalière de germination des graines du soja *Glycine max* pendant 08 jours (annexe 08 / tableau 34).

### 3.17. Discussion

Notre expérience atteste, que pour la cinétique de germination, l'existence de 03 phases successives comme suit : La première phase est une phase de latence, nécessaire à l'apparition des premières germinations où le taux de germination reste trop faible. La durée de cette phase se varie selon l'espèce, le type du polluant et la concentration utilisée, elle est courte dans les témoins de l'orge et les faibles concentrations du gasoil (par rapport au témoin du soja et les doses de l'huile de moteur), et devient longue quand la concentration est agrandie surtout les concentrations 0.5% G et 5% HM. La deuxième phase est une phase un peu linéaire avec une augmentation rapide évoluant proportionnellement au temps dans toutes les doses (de l'orge et du soja) où elle est courte dans le témoin et un peu longue dans les grandes concentrations. La troisième phase stationnaire correspond à un palier traduisant la capacité germinative dans les conditions de l'expérience, puisqu'au cours de la germination, l'activité biologique du grain continue à se développer, et lorsque la production enzymatique et la modification de l'endosperme ont atteint leurs niveaux optimaux, cette activité doit être arrêtée.

Pour la capacité germinative (ou bien le taux de germination finale), on constate une légère diminution non significative dans les doses du gasoil et l'huile contre l'orge (sauf la dose 3.75% HM où le taux est au-dessous de 80%). Le soja connaît une croissance significative remarquable dans son taux de germination dans les doses inférieures par rapport au témoin (qui a une faible capacité germinative) puis une diminution dans les doses supérieures (soit pour le gasoil ou pour l'huile de moteur).

La vitesse de germination évaluée par le temps moyen correspondant à la germination de 50% des graines ( $t_{50}$ ) est augmentée dans l'orge significativement contre le gasoil et non significativement contre les doses de l'huile ; par contre, et dans les graines du soja, la vitesse est diminuée d'une façon significative avec les doses du gasoil, et d'une façon non significative sous le stress des concentrations de l'huile de moteur (sauf la dose 3.75% HM). Concernant la moyenne journalière de germination, on remarque une diminution bien remarquée dans l'huile de moteur plus que le gasoil (diminution non significative) ; ça pour l'orge, mais pour les graines du soja, la moyenne journalière est augmentée dans toutes les doses du gasoil et les doses 1.25% et 2.5% de l'huile de moteur puis diminuée dans les doses 3.75% et 5% HM.

De nombreux auteurs ont signalé la diminution du taux de germination dans le sol contaminé par le pétrole ou ses dérivés comme le diésel et l'huile de moteur (**Adam et Duncan, 1999, 2002 ; Vavrek et Campbell, 2002 ; Méndez-Natera et al., 2004 ; Smith et al., 2006 ; Sharifi et al., 2007 ; Korade et Fulekar, 2009**).

Selon **Baker (1970)** et **Adam et Duncan (2002)**, le taux de germination inférieur pourrait être la barrière physique causée par le diesel enveloppant la semence. La période de temps plus courte entre la contamination et la plantation dans ce traitement aurait pu permettre le gasoil, qui était hydrophobe, pour couvrir les graines, produisant une barrière au passage de l'eau et éventuellement des gaz à l'intérieur de la graine. Les hydrocarbures pétroliers peuvent former un film sur la semence, empêchant l'entrée d'oxygène et d'eau, et peuvent, aussi, inhiber les activités de l'amylase et de l'amidon phosphorylase et affecter ainsi l'assimilation de l'amidon. **Briggs (1992)** a démontré que les sucres solubles, résultant de l'hydrolyse des substances de réserve (de l'orge), peuvent avoir un effet sur la synthèse de la gibbérelline, donc sur la germination. Selon **Corbineau et Côme (1980)**, les glumelles adhérentes au grain d'orge sont responsables de la dormance, et les éliminer des grains permet l'augmentation du taux de germination. Dans un premier temps, ces auteurs ont conclu que les glumelles inhibaient la germination en freinant le transfert d'oxygène vers l'embryon.

**Henner et al., (1999)** ont rapporté que les hydrocarbures pétroliers composent de petites molécules et de ceux qui sont solubles dans l'eau sont plus phytotoxiques pour la germination. Toutefois, il y a eu des rapports décrivant les espèces dont la germination n'était pas affectée par la présence de l'huile dans le sol (**Adam et Duncan, 2002 ; Merkl et al., 2004 ; Gogosz et al., 2010**).

Le retard de la germination des graines ainsi que la diminution de la moyenne de germination journalière est expliqué par le temps nécessaire à la graine de mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne (**Bliss et al., 1986**). Un allongement de la durée de germination favorise la désagrégation du grain et augmente l'activité enzymatique (**Narziss, 1969**). La germine, identifiée comme étant une oxalate-oxydase (**Bolwell et Wojtaszek, 1997**), est régulée par l'existence du stress (**Hurkmann et Tanaka, 1987**).

D'après **Agbogidi et Enujeke, (2012)**, l'embryon de graines pourrait avoir été blessé ou tué si elle vient en contact avec le pétrole ; qui pourrait être le résultat de couche de pétrole sur la surface de la graine, ce qui affecte les fonctions physiologiques au sein de la semence (**Sharifi et al., 2007**). **Shabala et al., (2000)**, en travaillant sur les grains de blé, ont étudié les profils de prise de potassium, de calcium et de protons sur la surface des grains en germination. Ils ont constaté que lorsqu'il y avait une inhibition de la germination, il y avait aussi une modification des flux de ces éléments.

Le diésel, puisqu'il est un mélange complexe d'hydrocarbures tels que les alcanes à faible poids moléculaire et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (**Adam et Duncan, 1999**) et contient du soufre, de l'azote et de l'oxygène en faibles concentrations, ainsi que des métaux tels que le plomb, le nickel, le sodium, le calcium, le cuivre et l'uranium (**Posthuma, 1970**), peut causer des effets chroniques ou aigus dans les plantes. En plus de la toxicité directe et indirecte, il provoque des interférences dans les relations hydriques des plantes. Cette interférence, accompagnée des conditions anaérobies et hydrophobes, s'est avérée être l'effet le plus important du sol contaminé par le gasoil sur la germination des graines et la croissance des plantes (**Racine, 1994**). En cas d'excès, les métaux essentiels (contenus dans les hydrocarbures) peuvent se comporter comme les métaux non essentiels et exercer une toxicité, affectant plusieurs étapes du développement, de la germination à la formation des feuilles. D'une manière générale, la plupart des métaux peuvent inhiber la germination et l'élongation racinaire lors des premiers stades de développement. Certains métaux (Cu et Pb) peuvent également altérer la croissance apicale et provoquer des nécroses de la coléoptile (**Dazy, 2008**).

Le diésel a aussi une composante volatile qui contient des hydrocarbures légers capables d'entrer facilement à travers les parois cellulaires de la plante. Ces petites molécules d'hydrocarbures qui pénètrent les plantes peuvent être phytotoxiques, expliquant le retard dans la germination et la diminution de la germination des graines (**Adam et Duncan, 2002**).

Selon **Wain (1975)**, les pesticides (tels que le chlorméquat) et les mycotoxines peuvent être considérés comme des retardateurs de croissance.

**Merkel et al., (2004)**, qui étudiaient la germination de deux graminées et six légumineuses tropicales du Venezuela dans un sol contaminé par le pétrole brut, n'observaient pas d'altération de la germination, sauf que dans la plante *Desmodium glabrum* (Mill.) Dc. Cependant, **Leck et Simpson (1992)**, examinant l'apparition des plantules dans une banque de graines après l'application du pétrole, ont enregistré une réduction de 30% de la germination. Les graines de *Schinus terebinthifolius* ont connu une réduction de la germination de près de 50%, montrant que l'effet de l'huile sur la germination variait selon l'espèce.

**Bliss et al., (1986)** ont expliqué que la diminution de la vitesse de germination correspond soit à une augmentation de la pression osmotique externe, ce qui affecte l'absorption de l'eau par les graines, et/ou bien à une accumulation des ions dans l'embryon. Cet effet toxique peut conduire à l'altération des processus métaboliques de la germination et dans le cas extrême à la mort de l'embryon par excès d'ions.

D'après **Dazy (2008)**, les mécanismes moléculaires liés à ces symptômes sont encore mal connus mais il semble que deux voies puissent être distinguées : une toxicité liée aux ions métalliques capables d'interagir directement avec divers processus physiologiques, ou une toxicité liée à la production d'espèces réactives de l'oxygène pouvant elles-mêmes causer des dommages cellulaires, particulièrement au niveau des lipides membranaires via le processus de lipo-péroxydation. L'effet peut être aussi une suite à la formation de composés polaires dissous dans l'eau qui peuvent pénétrer le tégument de la graine, exerçant une narcose polaire.

La contamination du gasoil a provoqué une réduction des degrés divers dans la longueur de la radicule (**Luhach et Chaudhry, 2012**). **Palma et Kermode (2003)** expliquent que durant la mobilisation des réserves, la  $\beta$ -oxydation des lipides génère du peroxyde d'hydrogène qui est insuffisamment dégradé ; puisque la catalase est inhibée par l'acide gibbérellique, cette accumulation de  $H_2O_2$  provoque parfois la mort cellulaire dans la couche à aleurone.

**Adam et Duncan (2002)** ont également observé que le degré d'altération de la germination des graines dans les graminées, les plantes herbacées et les légumineuses était affecté par le temps passé après la contamination. Ces auteurs ont enregistré une germination

plus élevée des graines dans un sol contaminé trois semaines avant la plantation que dans un sol contaminé le jour de la plantation. Dans certains cas après un déversement d'hydrocarbures, on peut observer une augmentation dans la production de biomasse et de la croissance et le développement de certaines espèces. Cela se produit probablement pour trois raisons : I) l'huile peut tuer des organismes présents dans le sol en augmentant la matière organique disponible. II) certains composés qui régulent la croissance des plantes peuvent être présentes dans l'huile ; et III) la fixation de l'azote peut augmenter avec la présence du pétrole dans le sol (**Baker, 1971**).

D'après l'utilisation des hydrocarbures, il y a une accumulation des antioxydants (**Maillard et al., 1996**). Parmi ces composés, les pro-anthocyanidines, à travers l'inhibition de la synthèse d'ATP, inhibent le développement et la germination des graines (**Rawat et al., 1998**). Les coumarines (comme 4-hydroxycoumarine) inhibent la mitose (**Zobel et Brown, 1995**). Selon **Briggs (1992)**, les tanins agissent comme antagonistes de la gibbérelline. L'existence de liaisons réversibles entre l'acide gibbérellique et divers composés phénoliques a été établie. Elle peut expliquer l'effet inhibiteur des tannins, la disparition apparente de gibbérelline de la surface des grains et les difficultés pour séparer les gibbérellines dans les extraits de graines.

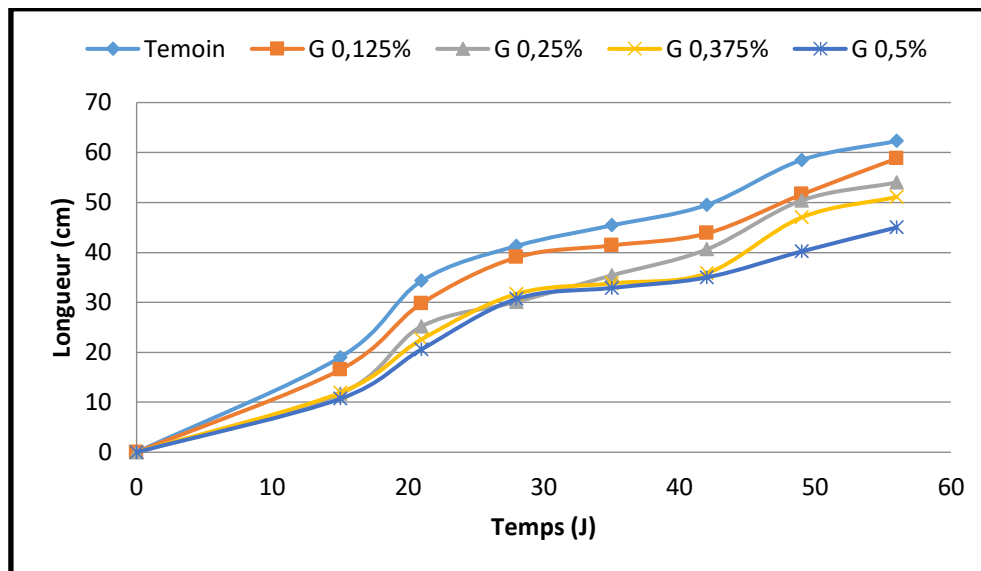
#### 4. Paramètres morphobiométriques

Les hydrocarbures ont un effet sur la croissance et le développement des végétaux, on sait qu'ils sont toxiques pour les plantes mais peu de recherches ont été effectuées sur les réponses des plantes au stress causé par les hydrocarbures.

##### 4.1. Effet du gasoil sur la cinétique de la longueur de l'orge

La **figure 40** montre l'effet des différentes concentrations du gasoil sur l'évolution de la longueur de l'orge au cours du temps. Les résultats enregistrent une augmentation de la longueur de chaque plante de 0 cm dans le premier jour jusqu'à  $62.3 \pm 5$  cm pour le témoin et  $58.8 \pm 3$ ,  $54 \pm 4$ ,  $51.1 \pm 3$  et  $45 \pm 2$  cm respectivement pour les doses 0.125%, 0.25%, 0,375 et 0.5 avant 15 jours de la récolte.

Les courbes permettent de distinguer une phase de latence nécessaire à l'apparition des premières germinations avant de commencer à croissance. Les doses du gasoil exercent un effet négatif durant la durée de développement. Cette différence de longueur commence à apparaître depuis le 15<sup>ème</sup> jour et va croître jusqu'à les derniers jours de croissance et atteindre 3.5 cm entre le témoin et la dose 0.125% et 17.3 cm avec la dernière dose 0.5%.



**Figure 40.** L'effet du gasoil sur la cinétique de la longueur de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 09 / tableaux 35, 36, 37, 38, 39, 40).

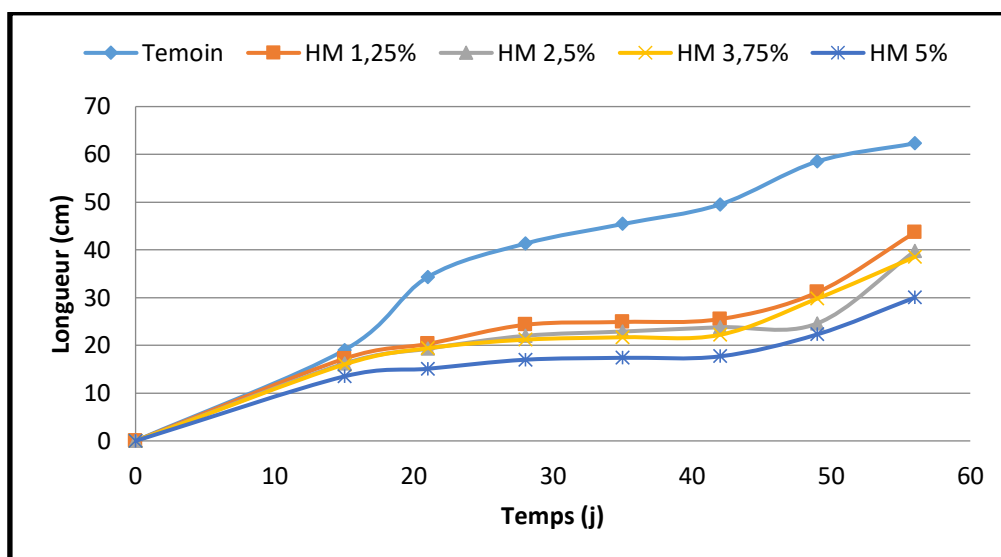
L'analyse statistique montre un effet hautement significatif entre les doses du gasoil et l'évolution de la longueur dans toutes les semaines sauf que la 05<sup>ème</sup> semaine où l'effet est significatif avec l'obtention de 03 groupes homogènes : (A) concernant le témoin, (AB) concernant la dose 0.125% et (B) rassemblant les 03 dernières doses du gasoil.

#### 4.2. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de la longueur de l'orge

Dans la figure 41, qui représente la croissance de la longueur des plantes de l'orge sous l'effet des doses de l'huile de moteur usée, on remarque une phase de latence dans le début de l'expérience. Pour les premiers jours, les plantules ont presque la même longueur pour toutes les doses, mais au cours du temps, la différence va dilater entre le témoin et les différentes doses de l'huile de moteur et embrayer 32.3 cm pour la concentration 5% avant la récolte.

Après 15 jours, on a remarqué que la longueur de témoin (0%) est de  $19 \pm 1$  cm et va croître à  $41.3 \pm 2.3$  cm au 28<sup>ème</sup> jour. Dans le même sens, et à 15 jour, la longueur de tiges de l'orge est  $17.2 \pm 0.7$ ,  $16.2 \pm 0.2$ ,  $16 \pm 2$  et  $12.8 \pm 1.6$  cm pour les concentrations 1.25%, 2.5%, 3.75% et 5% respectivement et atteint  $24.3 \pm 4$ ,  $22 \pm 2$ ,  $21.2 \pm 1.7$  et  $17 \pm 2$  cm après 28 jours de semis. D'après ces résultats, l'analyse statistique montre que le témoin est porté dans le groupe (A) alors que les autres doses sont dans le groupe (B).

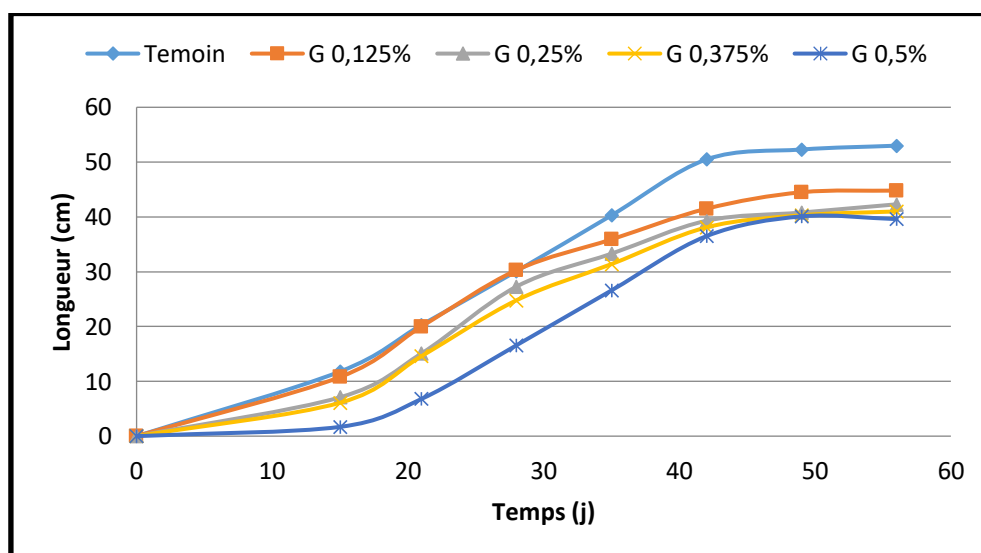
A 56<sup>ème</sup> jour, avec 03 groupes homogènes, l'existence de l'effet négatif atteint son haut niveau avec une différence de 30.01% entre le témoin ( $62.3 \pm 5$  cm) et la dose 1.25% et de 36.27%, 38.20% et 51.84% respectivement avec les autres doses de l'huile.



**Figure 41.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur la cinétique de la longueur de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 43 / tableaux 149, 150, 151, 152, 153, 154).

### 4.3. Effet du gasoil sur la cinétique de la longueur du soja

Les courbes de la **figure 42** montrent que dans les premiers 28 jours, la dose 0.125% est marchée en similaire avec le témoin (0%) où atteint  $30.3 \pm 4$  cm (+ 0.6%) ; par contre et dans les jours suivants, la différence commence à orienter vers le témoin jusqu'aux les derniers jours de l'expérience où la dose 0.125% atteint une longueur de  $45.1 \pm 4.5$  cm avec une réduction de 15.47% par rapport au témoin ( $53 \pm 3$  cm). Pour les doses 0.25% et 0.375%, elles marchent un peu loin de témoin, par contre la dose 0.5% qui est trop lente dans sa croissance jusqu'au 21<sup>ème</sup> jour où elle commence à développer et arriver aux autres doses. Les plantes de trois doses (0.25%, 0.375% et 0.5%) atteignent respectivement  $42.3 \pm 2$ ,  $41 \pm 2$  et  $39.7 \pm 1.6$  cm avec une réduction de 20.18%, 22.64% et 25.28% par rapport au témoin.



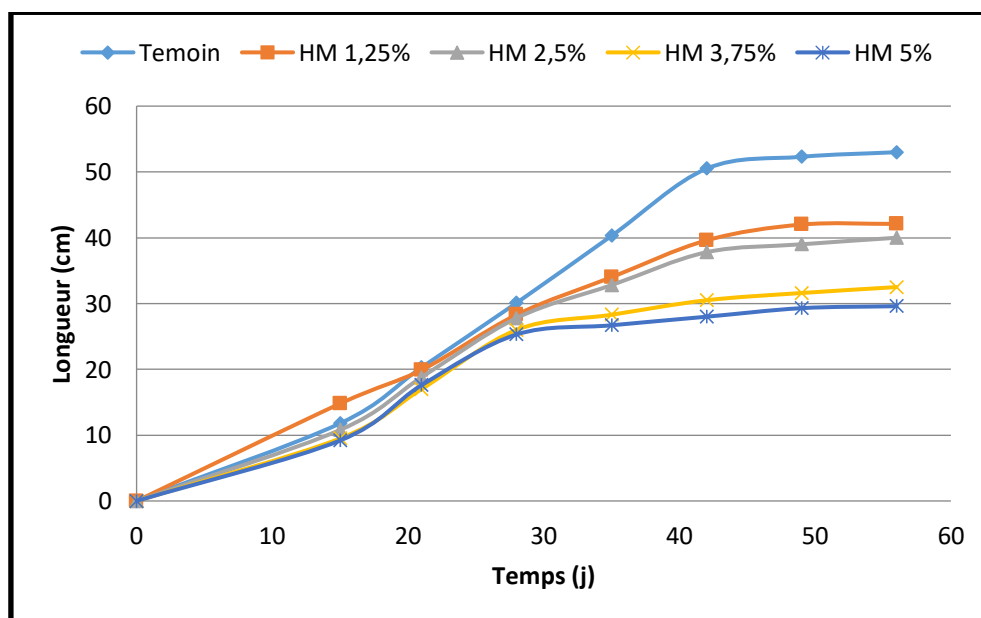
**Figure 42.** L'effet du gasoil sur la cinétique de la longueur du soja *Glycine max* (annexe 26 / tableaux 93, 94, 95, 96, 97, 98).

L'analyse statistique nous donne un effet hautement significatif durant toutes les semaines où on marque 05 groupes dans la 02<sup>ème</sup> semaine (le témoin prend la 01<sup>ière</sup> position), 03 groupes dans la 03<sup>ème</sup> semaine (le témoin n'est pas significatif avec la dose 0.125%) et 02 groupes homogènes durant les 03 dernières semaines (le témoin se sépare des autres doses).

#### 4.4. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de la longueur du soja

Comme indiqué dans la **figure 43**, il n'y pas vraiment une grande différence dans l'évolution de la longueur du soja entre les différentes doses de l'huile de moteur usée jusqu'au 21<sup>ème</sup> jour où on remarque que la dose 1.25% reste la plus longue même par rapport au témoin. Mais après ça, le témoin prend la 01<sup>ère</sup> place jusqu'aux derniers jours où il atteint  $53 \pm 3$  cm après 56 jour de semis.

Les doses de l'huile de moteur causent un ralentissement de croissance pour le soja au cours du temps de l'expérience ; ce ralentissement augmente avec l'augmentation de la dose de l'huile utilisée où on enregistre une valeur de  $42.1 \pm 2.1$  cm pour la dose 1.25%,  $40 \pm 4$  cm pour la dose 2.5%,  $32.5 \pm 2.5$  cm pour la dose 3.75% et finalement  $29.6 \pm 2$  cm pour la dose 5%. Ce que signifie une réduction allant de 20.56% (pour la dose 1.25%) à 44.15% (pour la dose 5%) par rapport à la dose 0%.



**Figure 43.** L'effet de l'huile de moteur usée sur la cinétique de la longueur du soja *Glycine max* (annexe 60 / tableaux 207, 208, 209, 210, 211, 212).

L'effet des concentrations de l'huile de moteur n'est pas significatif dans la 03<sup>ème</sup> semaine contrairement aux autres semaines où il est hautement significatif (avec des groupes homogènes allant de 02 dans les premiers jours à 03 dans les derniers jours).

#### 4.5. Effet du gasoil sur la cinétique de nombre de feuilles de l'orge

La figure 44, représentant l'évolution de nombre de feuilles de l'orge au cours du temps sous stress des différentes concentrations du gasoil, révèle une similarité du nombre jusqu'au 21<sup>ème</sup> jour où ce dernier ne dépasse 04 feuilles dans toutes les doses utilisées. Après ce jour, la différence commence à apparaître dans les plantes testées jusqu'aux derniers jours de l'expérience où la dose 0% prend une valeur de 19±1 feuilles.

L'effet négatif augmente avec l'augmentation des doses du gasoil et le nombre de feuilles reste faible par rapport au témoin où les plantes des doses 0.125%, 0.25%, 0.375% et 0.5% produisent respectivement 14±1, 11±0.55, 10±0 et 9±0 feuilles avec une réduction de 26.31%, 42.10%, 47.36% et 52.63% après 56 jours.

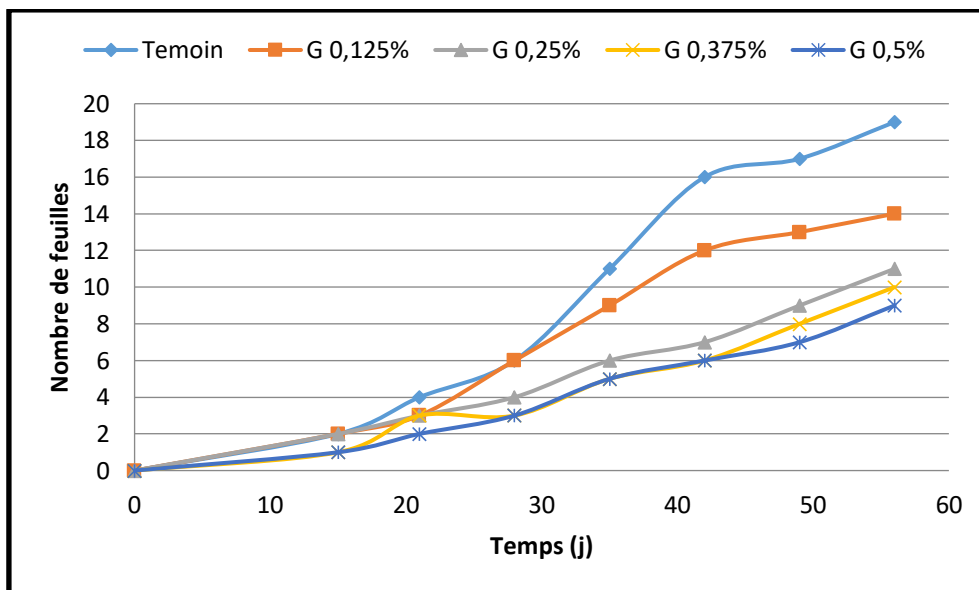


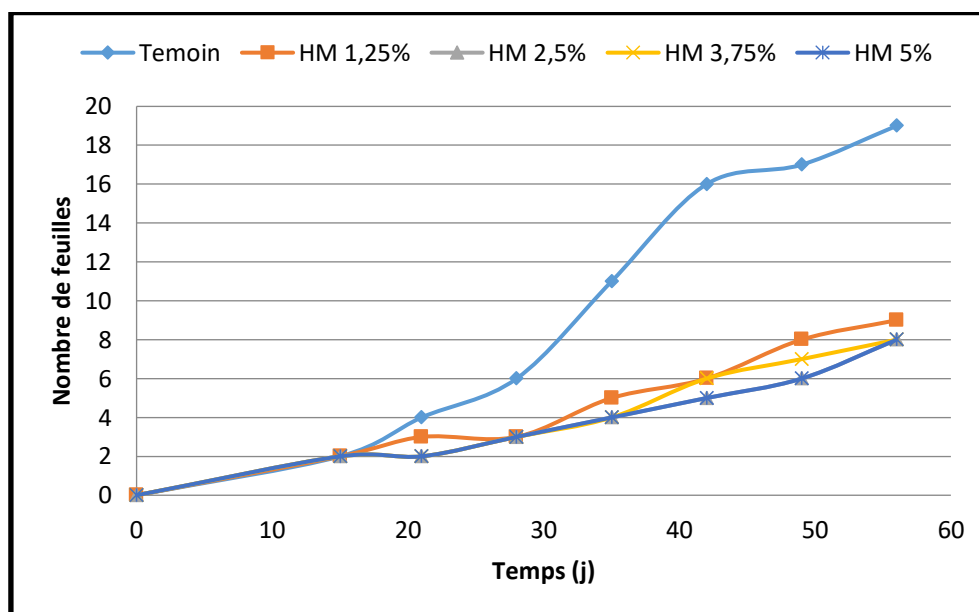
Figure 44. L'effet du gasoil sur la cinétique de nombre de feuilles de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 10 / tableaux 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47).

L'analyse statistique montre un effet significatif durant les 03 premières semaines, avec l'existence de 03 groupes homogènes, et un effet hautement significatif durant les jours suivants de l'expérience (remarquant que la dose 0.125% n'est pas significative avec le témoin après 28 jours).

#### 4.6. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de nombre de feuilles de l'orge

Comme indiqué dans la figure 45, les résultats montrent que le nombre est le même à 15 jours pour chaque dose ; mais depuis la 3<sup>ème</sup> semaine, le témoin (0%) prend un grand avantage aux autres doses où on remarque que l'huile usée exerce un grand effet négatif augmentant avec l'augmentation des doses avec un jaunissement des feuilles depuis les premiers jours de l'expérience jusqu'à la fin de l'étude.

Le nombre de feuilles de la dose 0% atteint  $19 \pm 1$  feuilles dans les derniers jours, par contre la dose 1,25% n'atteint que  $9 \pm 0.57$  feuilles avec une réduction de 52.63%, et les autres doses 2.5%, 3.75% et 5% produisent juste  $8 \pm 0$  feuilles avec une diminution de 57.89% dans la quantité des feuilles par rapport au témoin.



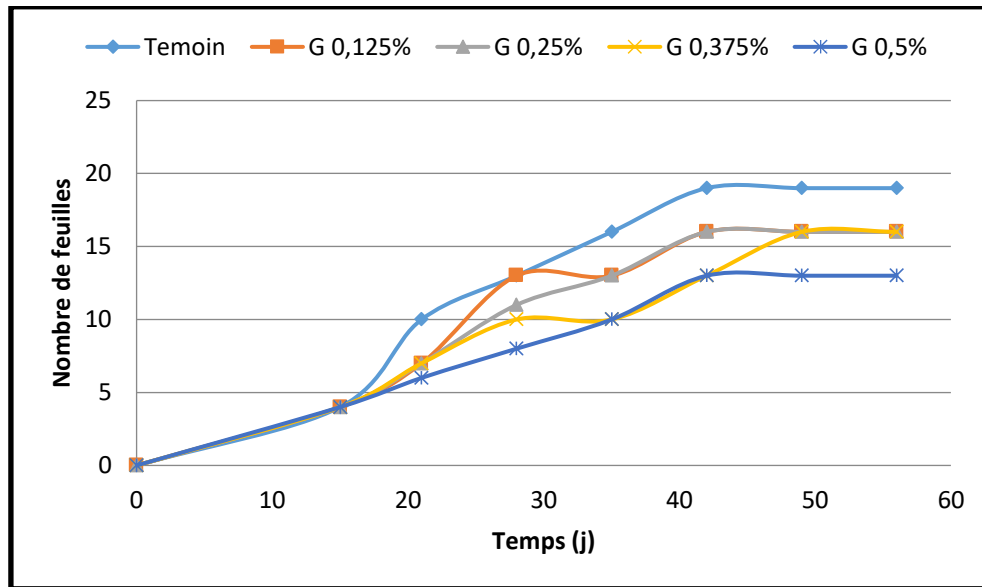
**Figure 45.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur la cinétique de nombre de feuilles de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 44 / tableaux 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161).

Les concentrations de l'huile de moteur utilisée commencent par un effet non significatif dans les premiers 15 jours, se transformant ensuite à un effet significatif au 21 jours et hautement significatif depuis 28 jours à la fin de l'expérience.

#### 4.7. Effet du gasoil sur la cinétique de nombre de feuilles du soja

Les courbes de la figure 46 enregistrent une valeur de 04 feuilles dans les premiers 15 jours de l'expérience dans toutes les doses ; mais au temps, l'effet du gasoil commence à apparaître et influencer les plantes du soja remarquant que le témoin produit un nombre de feuilles plus ( $16 \pm 1$  feuilles) que les doses du gasoil, par contre on ne regarde que  $13 \pm 0.57$  feuilles pour les doses 0.125% et 0.25% et  $10 \pm 0$  feuilles pour 0.375% et 0.5% après 35 jours de semis.

Après 56 jours, le témoin atteint  $19 \pm 0$  feuilles suivi par les doses 0.125%, 0.25% et 0.375% du gasoil dans le sol, qui font un nombre de  $16 \pm 0.57$  feuilles avec une diminution de 15.78%. Par contre, la dose 0.5% exerce un effet plus fort que les autres doses et ne produit que  $13 \pm 0$  feuilles avec une réduction égale 31.57% par rapport au témoin et 18.75% par rapport les autres doses du gasoil.



**Figure 46.** L'effet du gasoil sur la cinétique de nombre de feuilles du soja *Glycine max* (annexe 27 / tableaux 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105).

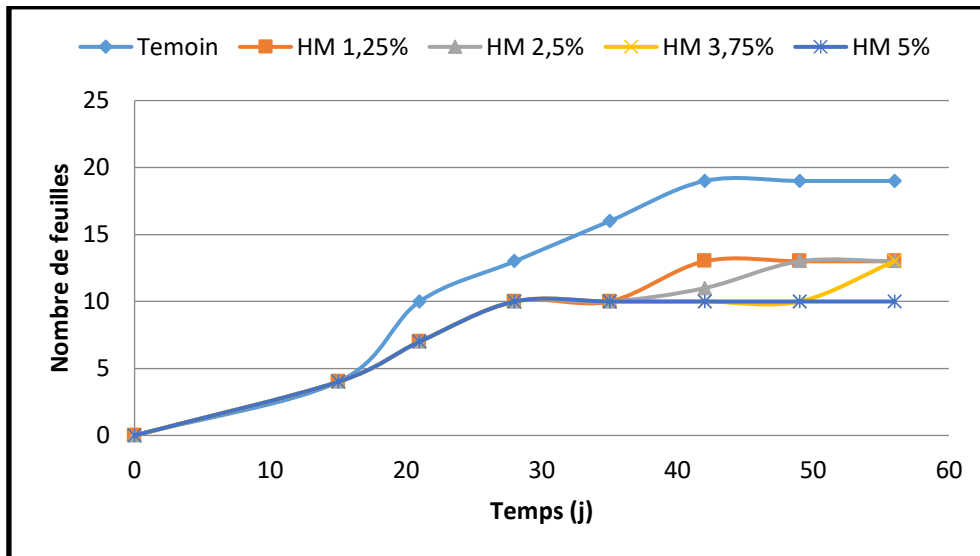
Les concentrations du gasoil exercent un effet hautement significatif d'après le 21<sup>ème</sup> jour avec l'enregistrement de 04 groupes homogènes à 28 jours et 03 groupes après avoir passé 35 jours où le témoin prend toujours la haute position (groupe A).

#### 4.8. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de nombre de feuilles du soja

La figure 47 montre que les doses de l'huile utilisée 1.25%, 2.5%, 3.75% et 5% exercent presque le même effet ; puisque jusqu'au le 35<sup>ème</sup> jour, il y a une production du même nombre avec  $10 \pm 0.57$  feuilles pour chaque plante. Après ce jour, la différence commence à apparaître jusqu'à la fin de l'expérience.

Concernant le témoin, il y a toujours un pas avant, contrairement aux doses de l'huile, où il y a une production de  $10 \pm 0.57$  feuilles après 21 jours,  $16 \pm 1$  feuilles après 35 jours et atteint un nombre de  $19 \pm 0$  feuilles dans les derniers jours de l'expérience. Pour les doses 1.25%, 2.5% et 3.75%, on remarque une valeur de  $13 \pm 0.57$  feuilles avec une réduction de 31.57% par rapport au témoin, et dans les plantes de la dernière dose 5% il y a juste que  $10 \pm 0$  feuilles. Le jaunissement apparaît depuis les premiers jours pour toutes les doses de l'huile et va marcher durant le temps de l'expérience avec des pourcentages différents.

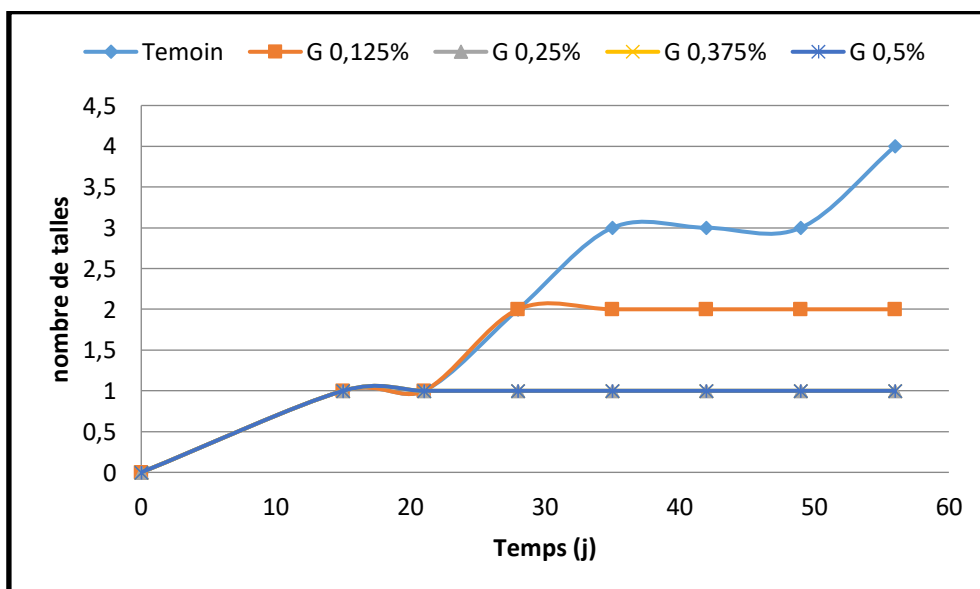
Contrairement aux premiers 15 jours (où l'effet n'est pas significatif), les doses de l'huile de moteur utilisée font un effet hautement significatif durant tous les jours de l'expérience avec l'enregistrement de 02 groupes homogènes jusqu'au 35<sup>ème</sup> jour, le groupe (A) concerne le témoin et le groupe (B) regroupe les autres doses ; et 03 groupes homogènes dans la fin où le témoin est dans le groupe (A) et la dose 5% dans le groupe (C).



**Figure 47.** L'effet de l'huile de moteur usée sur la cinétique de nombre de feuilles du soja *Glycine max* (annexe 61 / tableaux 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219).

#### 4.9. Effet du gasoil sur la cinétique de nombre de talles de l'orge

Pour la **figure 48**, qui représente l'évolution du nombre de tiges de l'orge sous le stress des différentes concentrations du gasoil, on remarque une similarité entre la dose 0.125% et le témoin (0%) dans les premiers 28 jours arrivant à 02 talles. Mais après ça, la dose 0.125% cesse l'intervalle pour le témoin qui donne plus de talles en produisant 03 talles après 42 jours et arrivant à 04 tiges dans les derniers jours de l'expérience.



**Figure 48.** L'effet du gasoil sur la cinétique de nombre de talles de l'orge *Hordeum vulgare*.

Les doses du gasoil 0.25%, 0.375% et 0.5% ne produisent que 01 talle durant toute la durée de l'expérience, ce que signifie l'effet négatif des différentes concentrations du gasoil depuis le premier jour jusqu'au dernier jour de l'étude.

#### 4.10. Effet de l'huile de moteur sur la cinétique de nombre de talles de l'orge

La figure 49 montre que les doses de l'huile de moteur usée 1.25%, 2.5%, 3.75% et 5% exerce un grand effet négatif contre la croissance des tiges de l'orge depuis les premiers jours jusqu'aux derniers jours où on a remarqué que les plantes donnent juste 01 talle durant toute la durée de l'expérience. Par contre, le témoin produit plus de talles égales au nombre de 04 après 56 jours de semis des graines.

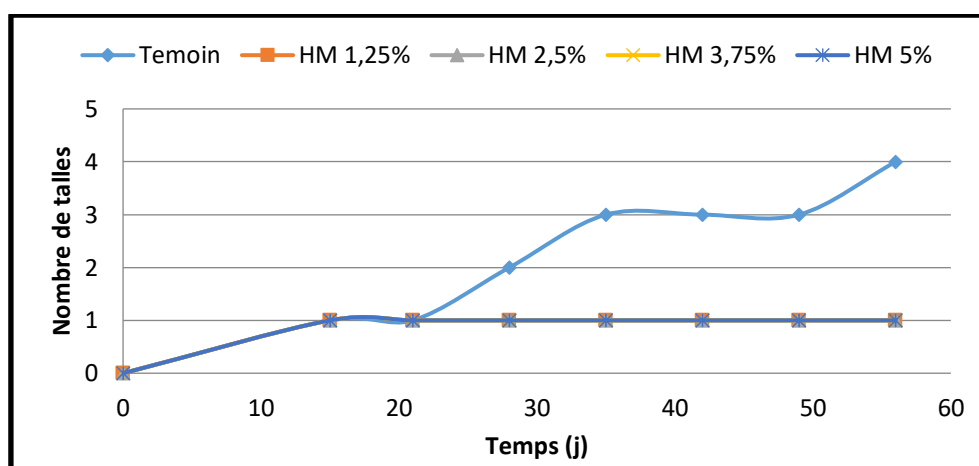


Figure 49. L'effet de l'huile de moteur usée sur la cinétique de nombre de talles de l'orge *Hordeum vulgare*.

#### 4.11. Effet du gasoil sur la surface foliaire totale de l'orge

Les résultats notés dans la figure 50 montrent une diminution de la surface totale de feuilles dans les différentes doses du gasoil par rapport au témoin, qui égale  $148 \pm 25.42 \text{ cm}^2$ , où on remarque la réduction de la surface à partir de la dose 0.125% ayant une valeur de  $66.12 \pm 17.03 \text{ cm}^2$  (- 55.40%). Dans la dose 0.25%, il y a une augmentation de la surface par rapport à la dose précédente mais reste au-dessous du témoin, les deux doses 0.375% et 0.5% marchent dans le même sens avec une réduction de 70.94% et 68.91% par rapport au témoin.

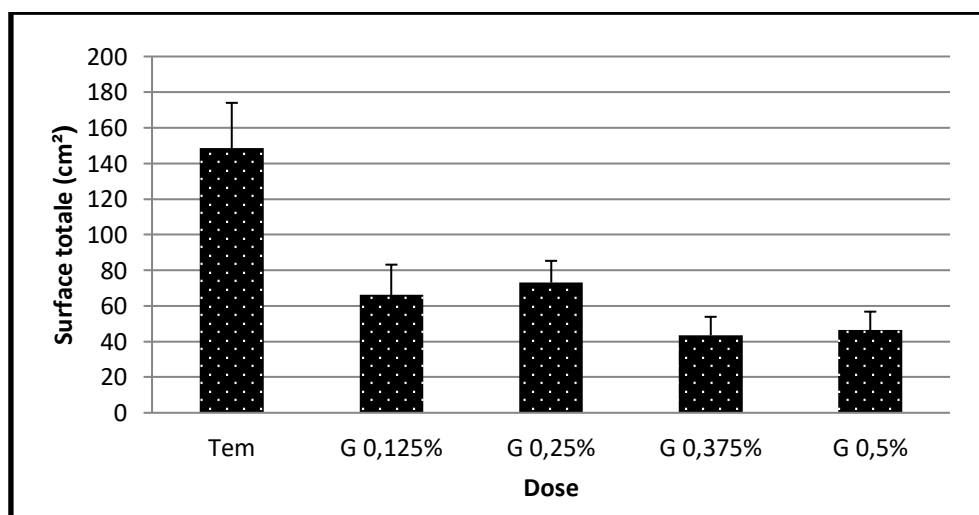
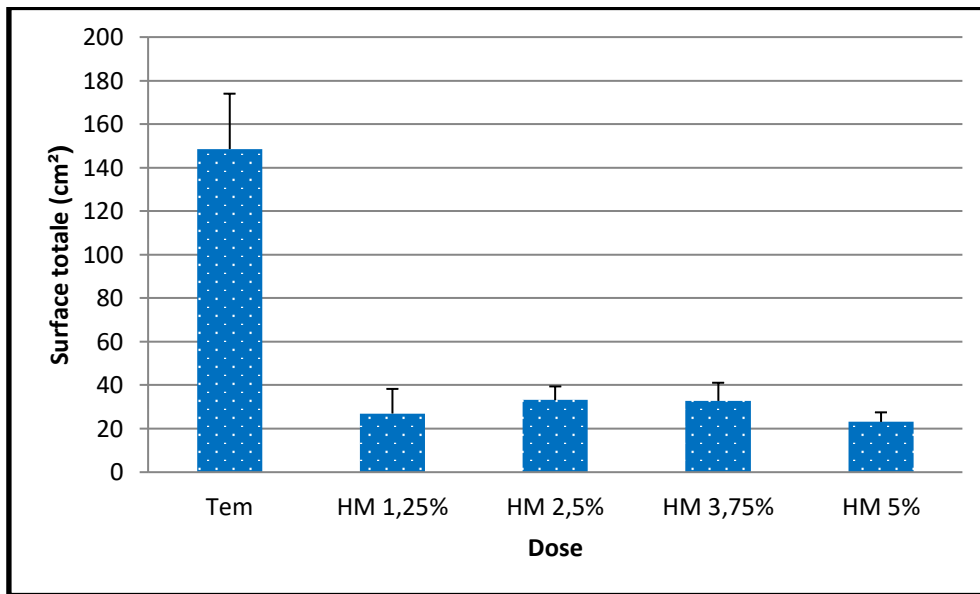


Figure 50. L'effet du gasoil sur la surface foliaire totale de l'orge (annexe 11 / tableau 48).

L'analyse statistique, basée sur les tests de comparaison des moyennes appelant au test Newman Keuls, montre un effet significatif de 02 groupes homogènes séparant le témoin (porté dans le groupe A) des différentes doses du gasoil (positionnées dans le groupe B).

#### 4.12. Effet de l'huile de moteur sur la surface foliaire totale de l'orge

Les résultats de l'effet des différents traitements de l'huile de moteur utilisée sur la surface foliaire totale des plantes de l'orge (**figure 51**) révèlent une chute remarquable depuis la dose 1.25% jusqu'à la dose 5% allant de 77.70% à 84.45% par rapport à la dose 0% (enregistrée une teneur totale de  $148.55 \pm 25.42 \text{ cm}^2$ ).



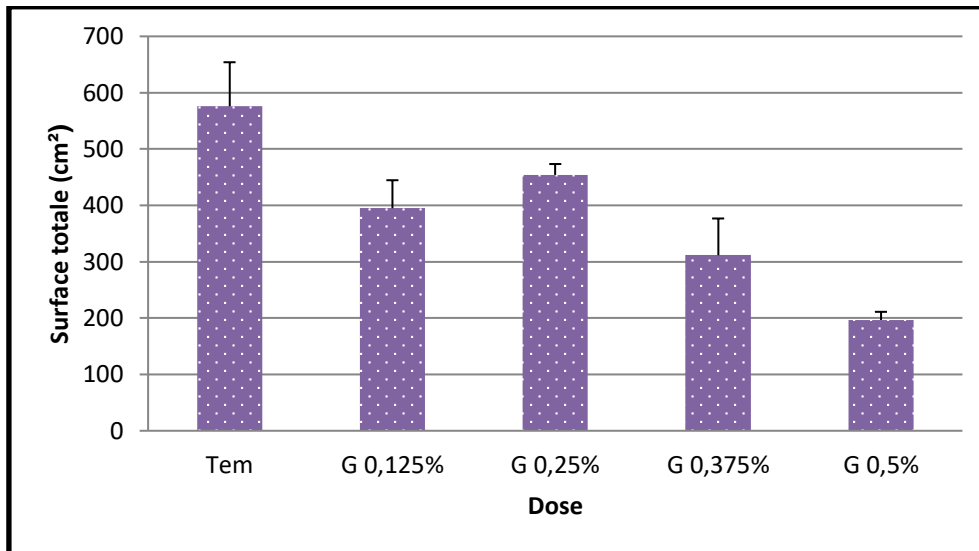
**Figure 51.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur la surface foliaire totale de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 45 / tableau 162).

L'analyse statistique montre un effet hautement significatif avec l'existence de 02 groupes homogènes. Le groupe (A) est observé pour le témoin (0%) et le groupe (B) représente les différentes doses de l'huile de moteur 1.25%, 2.5%, 3.75% et 5%.

#### 4.13. Effet du gasoil sur la surface foliaire totale du soja

Comme indiqué dans **la figure 52**, les résultats montrent une diminution remarquable hautement significative dans la surface totale du soja commençant par 21.18% dans la dose 0.25% et arrivant à 65.97% dans la dose 0.5% en comparant avec le témoin qui marque une surface totale de  $576.01 \pm 78.09 \text{ cm}^2$ .

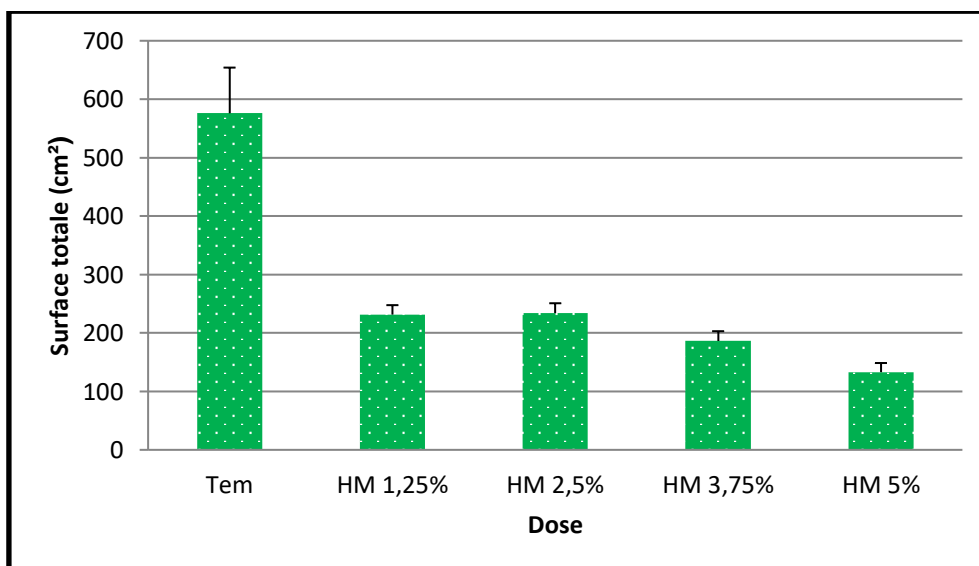
L'analyse statistique enregistre 05 groupes homogènes où le témoin (0%) est dans le groupe (A), la dose 0.25% représente le groupe (B), la dose 0.125% figure le groupe (BC), la dose 0.375% marche dans le groupe (C) et le dernier groupe (D) est noté pour la dernière dose 0.5%.



**Figure 52.** L'effet du gasoil sur la surface foliaire totale du soja *Glycine max* (annexe 28 / tableau 106).

#### 4.14. Effet de l'huile de moteur sur la surface foliaire totale du soja

Concernant la **figure 53**, les feuilles de témoin atteignent une surface totale de  $576.01 \pm 78.09$  cm<sup>2</sup>, cette surface est diminuée pour les deux doses suivantes 1.25% et 2.5% par 59.89% et 59.54%, et reste diminuer avec l'augmentation de la dose où atteint  $186.27 \pm 16.77$  cm<sup>2</sup> pour la dose 3.75% et  $133.03 \pm 15.57$  cm<sup>2</sup> pour 5% de l'huile de moteur avec une réduction de 67.70% et 76.90% respectivement par rapport à la dose 0%.

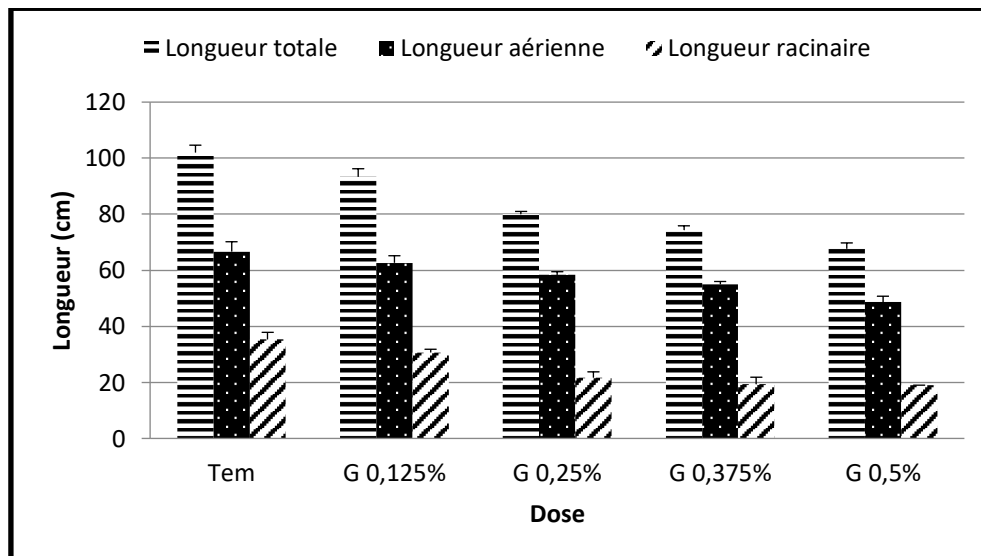


**Figure 53.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur la surface foliaire totale du soja *Glycine max* (annexe 62 / tableau 220).

L'analyse statistique révèle un effet hautement significatif donnant 04 groupes homogènes. Le témoin (0%) représente le premier groupe (A), le deuxième groupe (B) regroupe les doses 1.25% et 2.5% et les groupes (BC) et (C) sont portés pour les doses 3.75% et 5% respectivement.

#### 4.15. Effet du gasoil sur la longueur aérienne, racinaire et totale de l'orge

L'analyse des résultats relatifs à l'effet des doses du gasoil sur la longueur de l'orge montre l'existence d'un effet hautement significatif à la longueur finale, aérienne et racinaire (**figure 54**). Cependant, il y a une diminution de la longueur avec l'augmentation de la dose où on remarque les plus hautes valeurs dans le témoin (0%) qui sont égales à  $102 \pm 2.64$  cm pour la longueur totale,  $66.66 \pm 3.51$  cm pour la longueur aérienne et  $35.33 \pm 2.51$  cm pour la longueur racinaire. Ces teneurs sont réduites avec la 1<sup>ère</sup> dose du gasoil (0.125%) et atteintes  $93 \pm 2.88$  cm,  $62 \pm 2.51$  cm et  $30.66 \pm 1.15$  cm respectivement, et restent diminuer avec les autres doses 0.25%, 0.375% et 0.5% enregistrant  $80 \pm 1.00$  cm,  $74.33 \pm 1.52$  cm et  $67.66 \pm 2.08$  cm respectivement pour la longueur finale,  $58.33 \pm 1.15$  cm,  $55 \pm 1.00$  cm et  $48.66 \pm 2.08$  cm pour la longueur aérienne et  $21.66 \pm 2.08$  cm,  $19.33 \pm 2.51$  cm et  $19 \pm 0.00$  cm pour la longueur racinaire.



**Figure 54.** L'effet du gasoil sur la longueur aérienne, racinaire et totale de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 12 / tableaux 49, 50, 51).

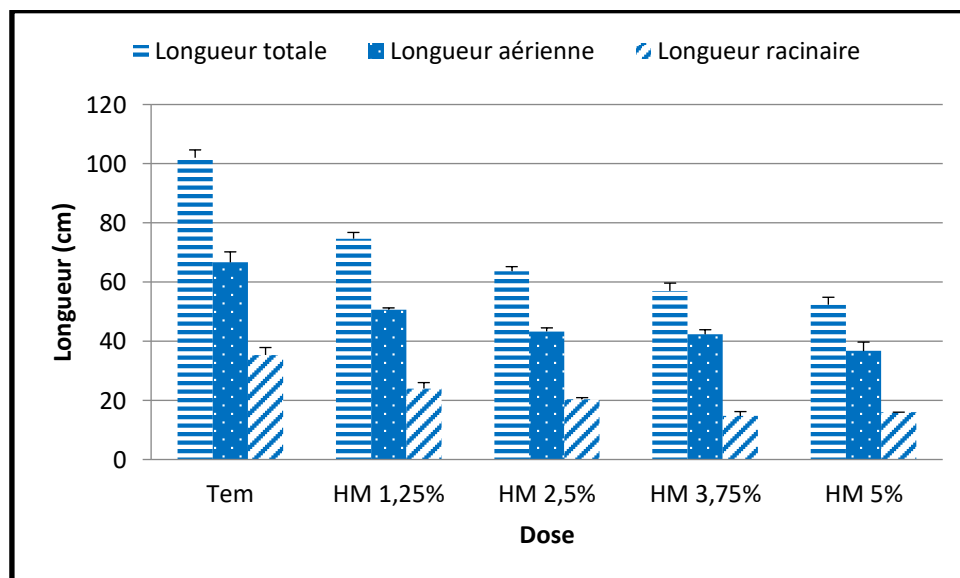
Pour la longueur totale, l'analyse statistique montre l'existence de 05 groupes homogènes, le premier groupe (A) représente le témoin (0%), le deuxième (B) représente la dose 0.125%, et le troisième (C), le quatrième (D) et le cinquième (E) sont respectivement marqués pour les doses 0.25%, 0.375% et 0.5%.

Trois groupes sont notés pour la longueur aérienne où le groupe (A) distingue le témoin et 0.125%, le groupe (B) regroupe 0.25% et 0.375% et le groupe (C) représente la dernière dose du gasoil 0.5%. Concernant la longueur racinaire, les doses 0.5%, 0.375% et 0.25% distinguent le groupe (C), par contre, la dose 0.125% est notée dans le groupe (B), et le témoin représente le premier groupe (A).

#### 4.16. Effet de l'huile de moteur sur la longueur aérienne, racinaire et totale de l'orge

La figure 55 montre une réduction importante de la longueur totale, aérienne et racinaire par rapport au témoin ( $102 \pm 2.64$  cm,  $66.66 \pm 3.51$  cm et  $35.33 \pm 2.51$  cm respectivement) qui atteint à la dernière dose (5%)  $52.33 \pm 2.51$  cm<sup>2</sup> pour la longueur totale,  $36.66 \pm 3.05$  cm pour la longueur aérienne et  $16 \pm 0.00$  cm pour la longueur racinaire avec une réduction de 48.69%, 45% et 54.71% respectivement pour les trois longueurs.

Pour les autres trois doses, on note la même chose où il y a une diminution proportionnelle selon l'augmentation de la concentration avec un enregistrement de  $74.66 \pm 2.08$  cm,  $50.66 \pm 0.57$  cm et  $24 \pm 2.00$  cm pour la dose 1.25% ;  $63.66 \pm 1.52$  cm,  $43.33 \pm 1.15$  cm et  $20.33 \pm 0.57$  cm pour la dose 2.5% ; et  $57 \pm 2.51$  cm,  $42.33 \pm 1.52$  cm et  $14.66 \pm 1.52$  cm pour la dose 3.75% respectivement. Ces résultats montrent une réduction de 26.80%, 44.11% et 48.69% respectivement pour les doses 1.25%, 2.5% et 3.75% concernant la longueur totale ; 24%, 34.99% et 36.49% concernant la longueur aérienne ; et 32.06%, 42.45% et 58.50% concernant la longueur racinaire.



**Figure 55.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur la longueur aérienne, racinaire et totale de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 46 / tableaux 163, 164, 165).

Les analyses statistiques révèlent une différence hautement significative pour la longueur totale avec l'obtention de 05 groupes homogènes. Le groupe (A) pour le témoin (0%), le groupe (B) pour la dose 1.25%, et les groupes (C), (D) et (E) sont respectivement pour les doses 2.5%, 3.75% et 5%.

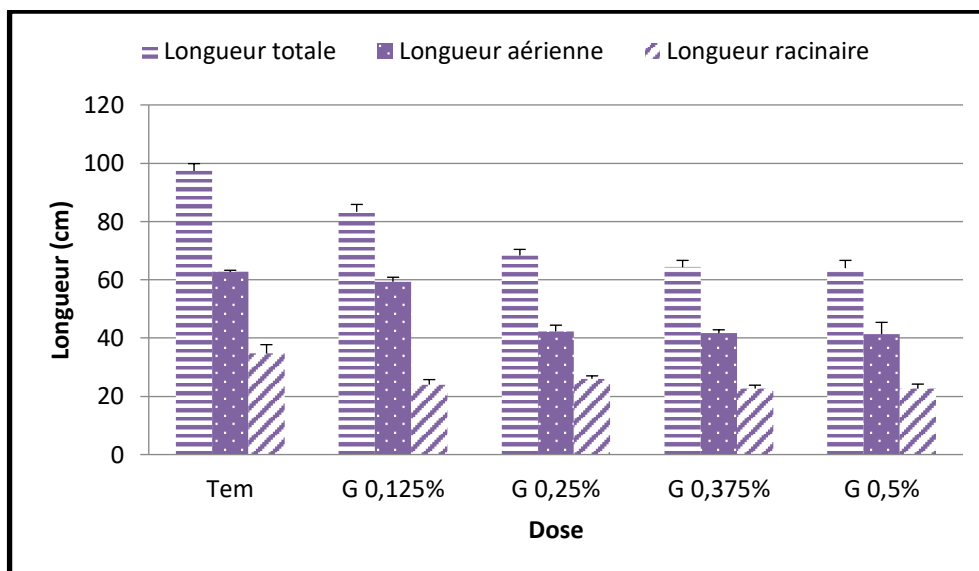
On remarque 04 groupes homogènes pour la longueur aérienne où le témoin représente le groupe (A), la dose 1.25% représente le groupe (B), la dose 5% représente le groupe (D), passant par les doses 2.5% et 3.75% qui regroupent dans le groupe (C).

Pour la longueur racinaire, l'analyse statistique note 04 groupes homogènes (A), (B), (C) respectivement enregistrés pour le témoin, la dose 1.25% et la dose 2.5%, et le groupe (D) qui regroupe les deux dernières concentrations 3.75% et 5%.

#### 4.17. Effet du gasoil sur la longueur aérienne, racinaire et totale du soja

Concernant la **figure 56**, on enregistre une diminution de valeurs de la longueur totale du soja par rapport au témoin ( $97 \pm 2.51$  cm) où on note  $83.33 \pm 2.51$  cm pour la dose 0.125%, passant par  $68.33 \pm 2.08$  cm pour la dose 0.25% et arrivant à  $64.33 \pm 2.30$  cm et  $64 \pm 2.64$  cm pour les deux dernières doses 0.375% et 0.5% portant une réduction atteinte à 34.24% par rapport au témoin. L'analyse statistique montre 03 groupes homogènes, le premier (A) concerne le témoin (0%), le deuxième groupe (B) concerne la dose 0.125%, et le troisième (C) regroupent les trois dernières concentrations 0.25%, 0.375% et 0.5%.

La longueur aérienne est dépréciée avec l'augmentation de la dose du gasoil de  $62.66 \pm 0.57$  cm (témoin) à  $41.33 \pm 4.04$  cm (la dose 0.5%), avec diminution de 5.34% pour la dose 0.125% arrivant à 32.44%, 33.51% et 34.24% respectivement pour les trois dernières concentrations du gasoil, ce que signifie l'obtention de 02 groupes homogènes : (A) pour le témoin (0%) et 0.125% et (B) pour les doses 0.25%, 0.375% et 0.5%.



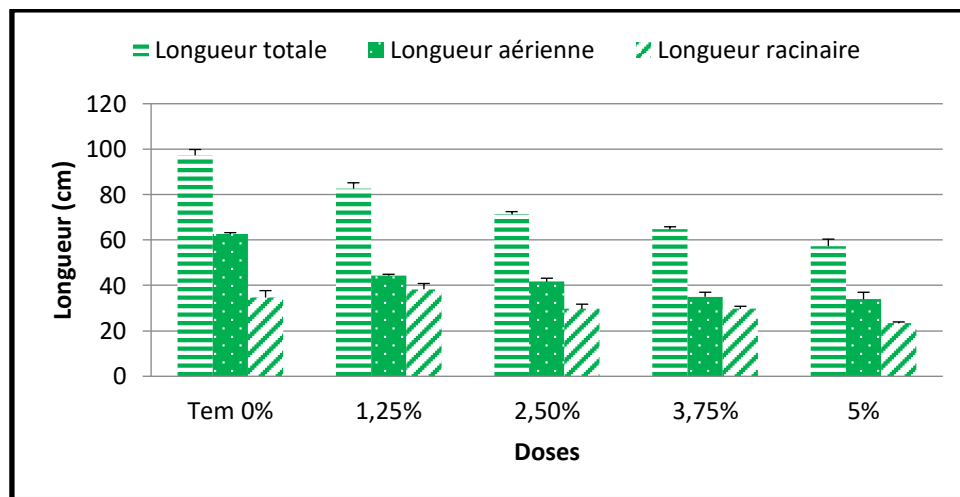
**Figure 56.** L'effet du gasoil sur la longueur aérienne, racinaire et totale du soja *Glycine max* (annexe 29 / tableaux 107, 108, 109).

Pour la longueur racinaire, l'analyse statistique révèle 02 groupes homogènes, le témoin (0%) représente le premier groupe (A) avec une valeur de  $34.66 \pm 3.05$  cm, et les autres doses (0.125%, 0.25%, 0.375% et 0.5%) sont regroupées dans le deuxième groupe (B) avec des valeurs de  $24 \pm 1.73$  cm,  $26 \pm 1.00$  cm,  $22.66 \pm 1.15$  cm et  $22.66 \pm 1.52$  cm, ce que représente une chute atteinte à 34.62% par rapport au témoin.

#### 4.18. Effet de l'huile de moteur sur la longueur aérienne, racinaire et totale du soja

L'analyse statistique de l'effet de l'huile de moteur (**figure 57**) montre une diminution hautement significative sur la longueur totale, aérienne et racinaire du soja.

Pour la longueur racinaire, la dose 1.25% provoque une augmentation de 10.58% par rapport au témoin ( $34.66 \pm 3.05$  cm), mais après ça, les doses suivantes (2.5% et 3.75%) exercent une diminution de 14.42% arrivant à une réduction atteinte à 32.68% pour la dernière dose (5%) qui a une longueur de  $23.33 \pm 0.57$  cm. La longueur aérienne décroît avec l'augmentation de la dose où elle commence par  $62.66 \pm 0.57$  cm (témoin) passant à  $44.33 \pm 0.57$  cm (1.25%),  $41.66 \pm 1.52$  cm (2.5%),  $35 \pm 2.00$  cm (3.75%) et arrivant à  $34 \pm 3.00$  cm (5%) qui enregistre une chute de 45.45% par rapport au témoin (0%). La longueur totale, comme conséquence des deux longueurs (aérienne et racinaire), commence à diminuer depuis la dose 1.25% ( $82.66 \pm 2.51$  cm) par rapport au témoin ( $97.33 \pm 2.51$  cm), et reste diminuer jusqu'à la dernière dose avec des valeurs de  $71.33 \pm 1.15$  cm,  $64.66 \pm 1.15$  cm et  $57.33 \pm 3.05$  cm respectivement pour les doses 2.5%, 3.75% et 5% ce que signifie une réduction atteinte à 41.09% par rapport au témoin.

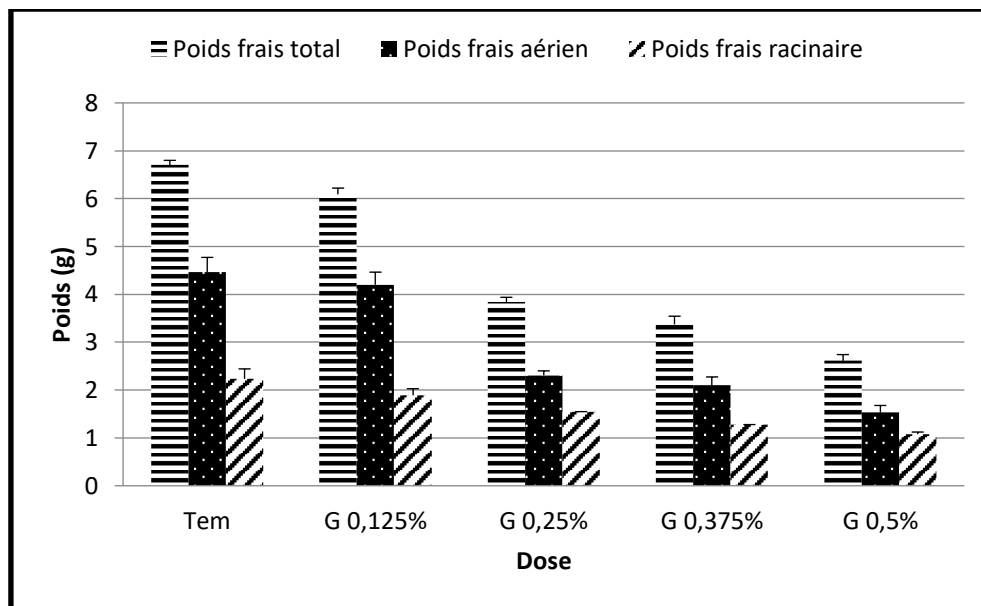


**Figure 57.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur la longueur aérienne, racinaire et totale du soja *Glycine max* (annexe 63 / tableaux 221, 222, 223).

D'après l'analyse statistique, il y a 05 groupes homogènes pour la longueur totale : (A), (B), (C), (D) et (E) représentant respectivement les doses 0%, 1.25%, 2.5%, 3.75% et 5%. Pour la longueur aérienne, l'analyse révèle 03 groupes homogènes, le premier (A) distingue le témoin, le deuxième (B) distingue les doses 1.25% et 2.5% et le troisième groupe (C) représente les deux dernières doses 3.75% et 5%. Concernant la longueur racinaire, on retrouve aussi 03 groupes homogènes différents : (A) regroupant le témoin et la dose 1.25%, (B) regroupant les deux doses 2.5% et 3.75% et le dernier groupe (C) représente la dernière dose (5%).

#### 4.19. Effet du gasoil sur le poids frais aérien, racinaire et totale de l'orge

Comme indiqué dans la **figure 58**, le poids frais total est réduit de  $6.7 \pm 0.10$  g (témoin) à  $2.61 \pm 0.13$  g (0.5%) passant par  $6.09 \pm 0.13$  g (0.125%),  $3.84 \pm 0.09$  g (0.25%) et  $3.37 \pm 0.17$  g (0.375%), ce que signifie une diminution atteinte à 61.04%. La même chose est presque remarquée pour le poids frais aérien où on a une diminution proportionnelle contre l'augmentation des doses du gasoil commençant par le témoin ( $4.46 \pm 0.30$  g) passant par la dose 0.125% avec  $4.2 \pm 0.26$  g (- 5.82% du poids) et arrivant aux trois dernières concentrations 0.25% ( $2.3 \pm 0.10$  g), 0.375% ( $2.1 \pm 0.17$  g) et 0.5% ( $1.53 \pm 0.14$  g) enregistrant respectivement des réductions de 48.43%, 52.91% et 65.69%. Le poids frais racinaire de l'orge figure une diminution significative avec une chute de 51.56% notée à la dose 0.5% ( $1.08 \pm 0.04$  g) par rapport au témoin ayant une valeur de  $2.23 \pm 0.20$  g.



**Figure 58.** L'effet du gasoil sur le poids frais aérien, racinaire et total de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 13 / tableaux 52, 53, 54).

L'analyse statistique montre l'existence de 05 groupes homogènes concernant le poids frais total : de (A) représentant le témoin (0%) au groupe (E) qui représente la dernière dose 0.5%.

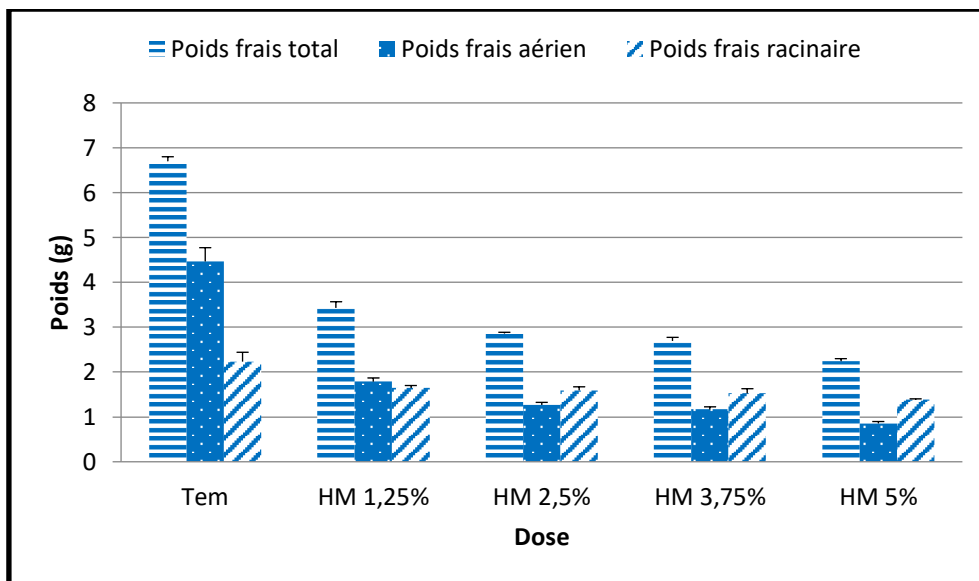
Dans le poids frais aérien, il existe 03 groupes homogènes, le premier regroupe le témoin et la dose 0.125%, le deuxième regroupe les deux doses 0.25% et 0.375%, et le dernier groupe distingue la dernière dose 0.5%.

Quatre groupes sont notés concernant le poids frais racinaire où le groupe (D) rassemble les doses 0.5% et 0.375%, le groupe (C) enregistrant la dose 0.25%, le groupe (B) distingué pour la dose 0.125% et le groupe (A) qui est noté pour le témoin (0%).

#### 4.20. Effet de l'huile de moteur sur le poids frais aérien, racinaire et totale de l'orge

Les résultats de l'analyse statistique de l'effet de l'huile de moteur sur le poids de l'orge (**figure 59**) montrent une diminution hautement significative concernant le poids frais racinaire où on a 02 groupes homogènes, le témoin représente le premier groupe (A) avec  $2.23 \pm 0.20$  g et les autres doses de l'huile 1.25%, 2.5%, 3.75% et 5% sont représentées dans le deuxième groupe (B) respectivement avec  $1.64 \pm 0.05$  g,  $1.59 \pm 0.07$  g,  $1.52 \pm 0.10$  g et  $1.38 \pm 0.01$  g, ce que signifie une réduction atteinte à 38%.

La diminution significative reste avec le poids frais aérien avec une obtention de 04 groupes homogènes : (A) pour le témoin ( $4.46 \pm 0.30$  g), (B) pour la dose 1.25% ( $1.78 \pm 0.08$  g), (C) regroupant les deux doses 2.5% ( $1.26 \pm 0.05$  g) et 3.75% ( $1.16 \pm 0.05$  g) et (D) qui représente la dernière dose 5% avec  $0.85 \pm 0.01$  g.



**Figure 59.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur le poids frais aérien, racinaire et total de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 47 / tableaux 166, 167, 168).

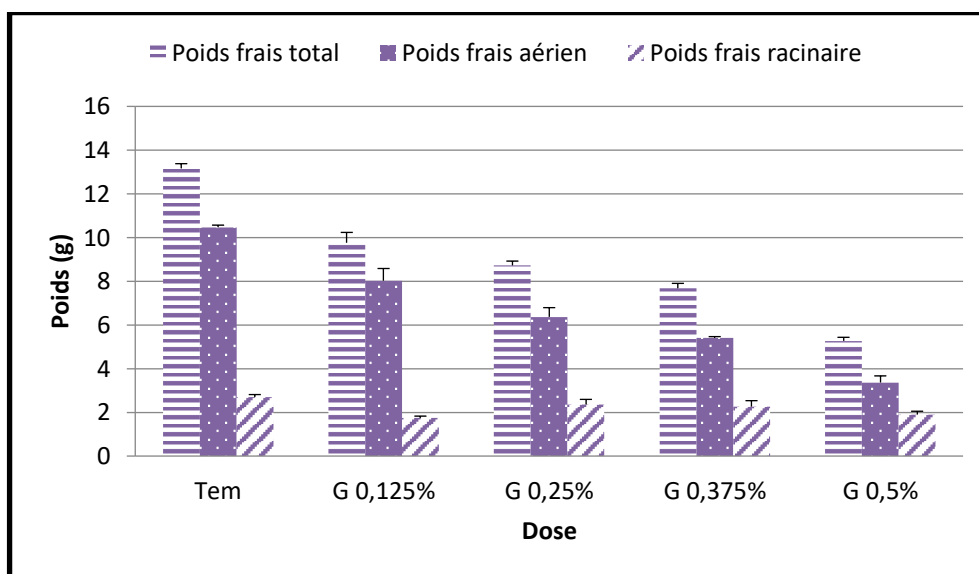
Le poids frais total est presque la somme des deux poids (aérien et racinaire) où il y a une chute remarquable par rapport au témoin, qui a une valeur de  $6.7 \pm 0.10$  g, ce dernier est figuré dans le premier groupe (A). Les doses suivantes 1.25%, 2.5%, 3.75% et 5%, regroupées respectivement dans les groupes homogènes (B), (C), (D) et (E), portent un poids de  $3.43 \pm 0.13$  g,  $2.86 \pm 0.02$  g,  $2.69 \pm 0.08$  g et  $2.24 \pm 0.05$  g avec une réduction atteinte à 66.56% pour la dernière dose.

#### 4.21. Effet du gasoil sur le poids frais aérien, racinaire et totale du soja

Comme indiqué dans **la figure 60**, l'augmentation des doses du gasoil exerce une influence négative sur les teneurs en poids frais totale avec  $13.16 \pm 0.21$  g pesée pour le premier traitement (0%), cette valeur est diminuée à partir de la première dose du gasoil

(0.125%) et atteinte  $9.76 \pm 0.47$  g et reste diminuer pour les autres doses 0.25%, 0.375% et 0.5% avec des valeurs de  $8.72 \pm 0.19$  g,  $7.68 \pm 0.22$  g et  $5.27 \pm 0.16$  g respectivement. L'analyse statistique révèle 05 groupes homogènes de (A) à (E), notés respectivement de la première dose 0% à la dernière dose 0.5%.

La même chose est presque remarquée pour le poids frais aérien avec 05 groupes homogènes, le groupe (A) représente le témoin ( $10.46 \pm 0.10$  g), le groupe (B) représente la dose 0.125% ( $8.02 \pm 0.55$  g), les groupes (C) et (D) sont notés pour les doses 0.25% ( $6.36 \pm 0.42$  g) et 0.375% ( $5.41 \pm 0.04$  g), et le groupe (E) distingue la dernière concentration 0.5% avec un poids de  $3.36 \pm 0.30$  g.



**Figure 60.** L'effet du gasoil sur le poids frais aérien, racinaire et total du soja *Glycine max* (annexe 30 / tableaux 110, 111, 112).

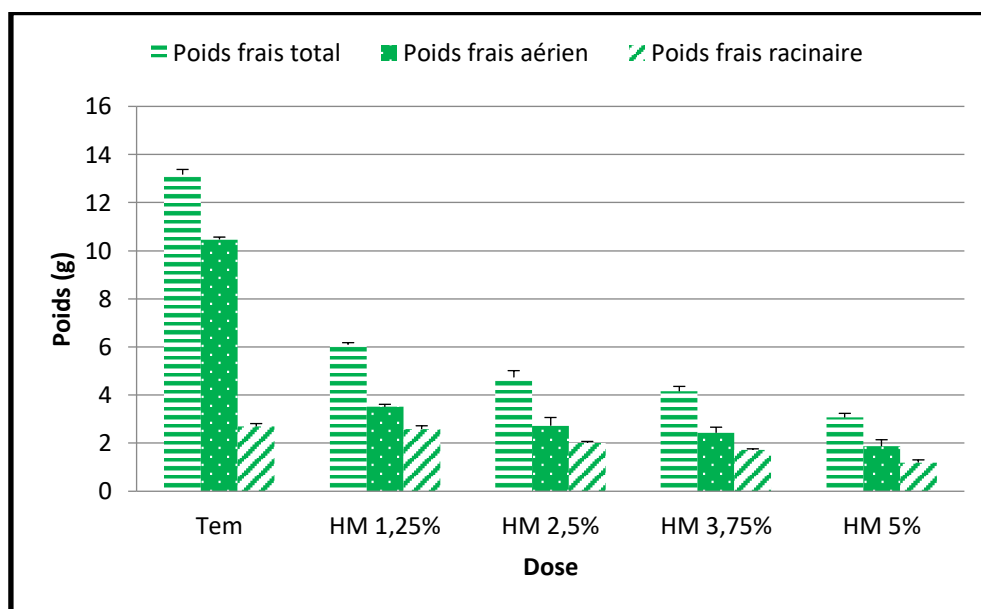
Pour le poids frais racinaire, l'analyse statistique montre un effet hautement significatif où le témoin (0%) est mis dans le premier groupe homogène (A) avec  $2.69 \pm 0.11$  g ; le poids est diminué dans la dose 0.125% ( $1.73 \pm 0.09$  g) regroupée dans le groupe (C) avec la dernière dose 0.5% ( $1.90 \pm 0.14$  g). La dose 0.25%, regroupée dans le groupe homogène (AB), est augmentée par rapport à la dose précédente 0.125% mais reste au-dessous du témoin avec  $2.36 \pm 0.26$  g, et la dose 0.375% prend une valeur de  $2.26 \pm 0.27$  g et est mise dans le groupe homogène (B).

#### 4.22. Effet de l'huile de moteur sur le poids frais aérien, racinaire et totale du soja

Dans la figure 61, on remarque une chute remarquable entre le témoin (0%) et les autres doses de l'huile de moteur pour le poids frais total et aérien où on note une valeur de  $13.16 \pm 0.21$  g et de  $10.46 \pm 0.10$  g pour le témoin (respectivement pour le poids total et aérien); ces valeurs vont diminuer jusqu'à  $6.08 \pm 0.09$  g et  $3.50 \pm 0.10$  g pour la première dose de

l'huile (1.25%) et restent diminuer aux doses suivantes avec  $4.73 \pm 0.28$  g et  $2.72 \pm 0.34$  g pour la dose 2.5% et  $4.15 \pm 0.20$  g et  $2.43 \pm 0.23$  g pour la dose 3.75% et atteintes à  $3.06 \pm 0.17$  g et  $1.87 \pm 0.26$  g pour la dernière dose 5% avec une réduction importante atteinte à 77.33% pour le poids frais total et 82.12% pour le poids frais aérien (dans la dernière dose).

Pour le poids frais racinaire, la diminution est moins importante par rapport au poids frais total et aérien. Le témoin prend une valeur de  $2.69 \pm 0.11$  g et la dose 1.25% a un poids de  $2.58 \pm 0.14$  g (avec une diminution de 4.08%). Les autres doses suivantes prennent le même sens où la dose 2.5% a  $2.00 \pm 0.06$  g, la dose 3.75% a  $1.72 \pm 0.27$  g et la dernière dose a  $1.19 \pm 0.10$  g avec une réduction de 25.65%, 34.72% et 55.76% respectivement.



**Figure 61.** L'effet de l'huile de moteur usée sur le poids frais aérien, racinaire et total du soja *Glycine max* (annexe 64 / tableaux 224, 225, 226).

L'analyse statistique de l'effet de l'huile de moteur sur le soja montre 05 groupes homogènes pour le poids frais : (A) pour le témoin, (B) pour la dose 1.25% et (C), (D) et (E) pour les doses 2.5%, 3.75% et 5%.

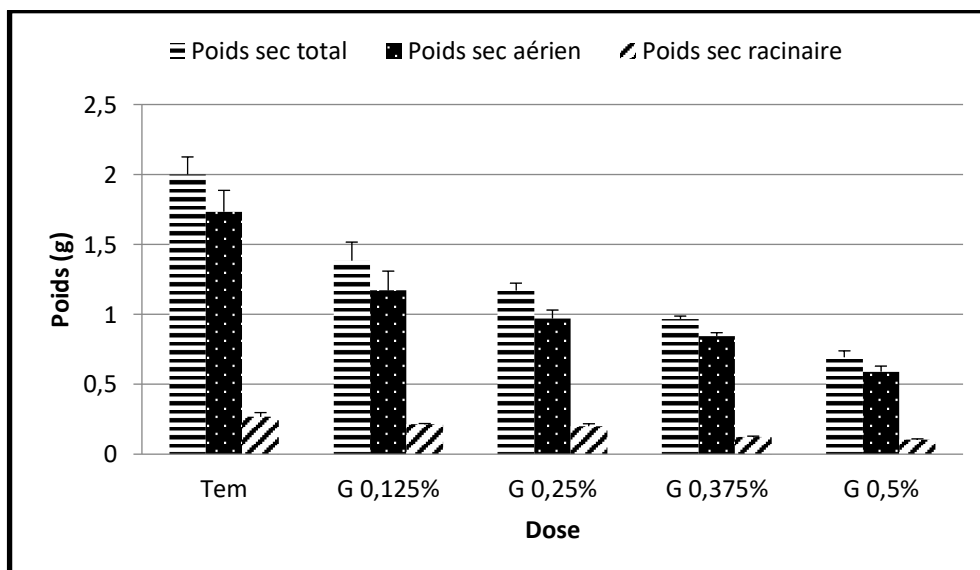
Dans le poids aérien, il y a une obtention de 04 groupes homogènes : le groupe (A) et le groupe (B) sont respectivement notés pour le témoin et la dose 1.25%, le groupe (C) regroupant les deux doses 2.5% et 3.75% et le dernier groupe (D) distinguant la dernière dose 5%.

Pour le poids frais racinaire, on remarque aussi 04 groupes homogènes où le témoin (0%) et la dose 1.25% sont regroupés dans le premier groupe (A), et les doses 2.5%, 3.75% et 5% sont figurées respectivement dans les groupes (B), (C) et (D).

#### 4.23. Effet du gasoil sur le poids sec aérien, racinaire et totale de l'orge

D'après la figure 62, le poids sec diminue selon l'augmentation de la dose du gasoil où le témoin enregistre une valeur de  $2 \pm 0.12$  g (diminution de 70.14% par rapport au poids frais total), cette valeur est atteinte à  $1.38 \pm 0.13$  g pour la dose 0.125% avec une réduction de 31% , par rapport au poids frais qui a été 77.33%, le poids sec total reste diminuer pour les trois dernières doses et arrive à  $0.69 \pm 0.04$  g pour la dose 0.5%, ce que signifie une diminution de 65.5% par rapport au témoin, par contre que dans le poids frais où elle a été 61.04%. L'analyse statistique révèle, comme dans le poids frais, l'obtention de 05 groupes homogènes : (A), (B), (C), (D) et (E) représentant respectivement le témoin, 0.125%, 0.25%, 0.375% et 0.5%.

On remarque que la différence entre le poids sec aérien et total est diminuée par rapport qu'entre le poids frais total et aérien. Le témoin porte une valeur de  $1.73 \pm 0.15$  g (diminution de 61.21% par rapport au poids frais aérien) diminuant directement d'après la dose suivante 0.125% avec 32.36%, d'après la dose 0.25% avec 43.93%, d'après la dose 0.375% avec 51.44%, et arrivant à 65.89% pour la dernière dose 0.5% avec une valeur de  $0.59 \pm 0.04$  g contrairement au poids frais où elle a été 65.69%. L'analyse statistique montre l'existence de 04 groupes homogènes : le dernier (D) pour la dernière dose 0.5%, l'avant dernier (C) regroupant les deux doses 0.375% et 0.25%, l'avant premier (B) pour la dose 0.125%, et le premier (A) pour la première dose 0%.



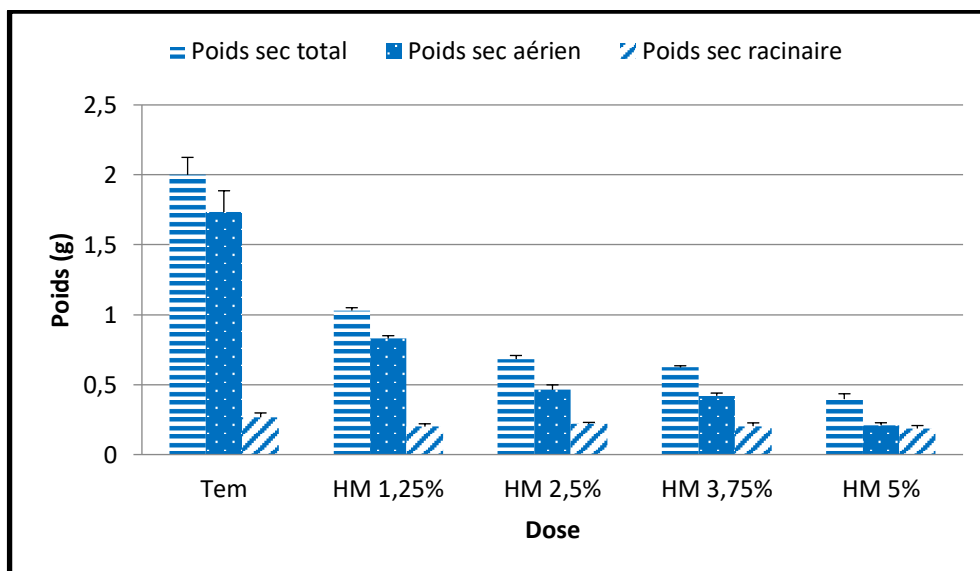
**Figure 62.** L'effet du gasoil sur le poids sec aérien, racinaire et total de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 14 / tableaux 55, 56, 57).

Pour le poids sec racinaire, les valeurs sont entre  $0.26 \pm 0.04$  g (pour le témoin) et  $0.10 \pm 0.01$  g (pour la dose 0.5%), avec une réduction de 61.53% contrairement au poids frais

où elle a été 51.56%, passant par  $0.21 \pm 0.01$  g (pour la dose 0.125% avec une réduction de 19.23%),  $0.20 \pm 0.01$  g (pour la dose 0.25% avec une réduction de 23.07%), et  $0.12 \pm 0.01$  g (pour la dose 0.375% avec une diminution de 53.84%). L'analyse statistique représente 03 groupes homogènes : (A) pour le témoin, (B) pour les doses 0.125% et 0.25%, et (C) qui regroupe les deux dernières doses 0.375% et 0.5%.

#### 4.24. Effet de l'huile de moteur sur le poids sec aérien, racinaire et totale de l'orge

L'étude statistique de l'effet de l'huile de moteur usée sur le poids sec de l'orge (figure 63) révèle l'existence d'un effet hautement significatif avec 04 groupes homogènes pour le poids sec total et aérien en commençant par le témoin ( $2.00 \pm 0.12$  g /  $1.73 \pm 0.15$  g respectivement) localisé comme groupe (A), suivi par la dose 1.25% ( $1.03 \pm 0.02$  g /  $0.83 \pm 0.02$  g) siégée dans le groupe (B) avec une réduction de 48.5% pour le poids sec total (presque similaire au poids frais qui a été 48.80%) et 52.02% pour le poids aérien. Les deux doses suivantes 2.5% ( $0.68 \pm 0.02$  g /  $0.46 \pm 0.03$  g) et 3.75% ( $0.62 \pm 0.01$  g /  $0.42 \pm 0.02$  g) sont centralisées dans le groupe (C) et la dernière dose 5% ( $0.39 \pm 0.03$  g /  $0.21 \pm 0.01$  g) est localisée dans le groupe (D) avec une chute de 80.5% pour le poids total et 87.86% pour le poids aérien par rapport au témoin.



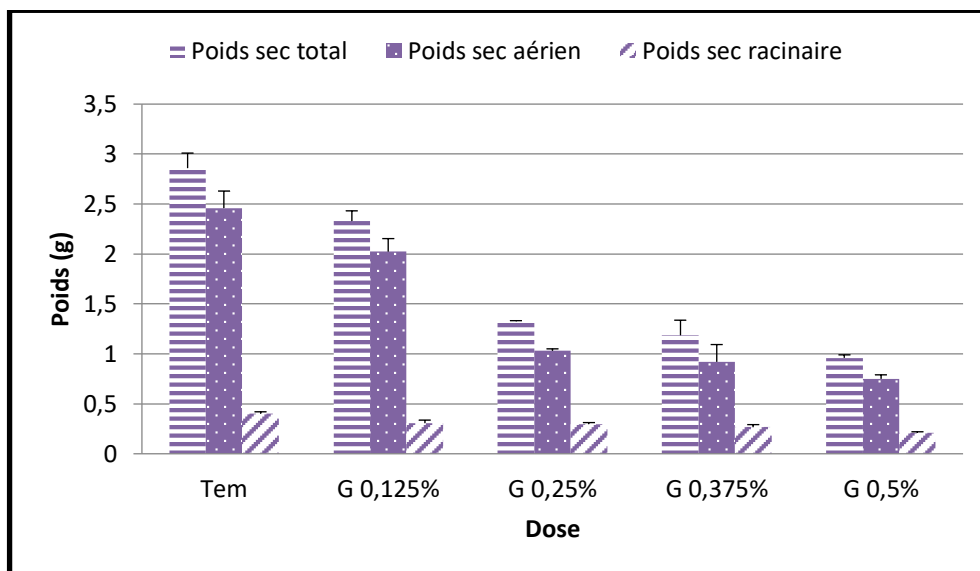
**Figure 63.** L'effet de l'huile de moteur usée sur le poids sec aérien, racinaire et total de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 48 / tableaux 169, 170, 171).

L'analyse statistique montre aussi un effet significatif pour le poids sec racinaire où le témoin a le plus grand poids avec  $0.26 \pm 0.03$  g (diminution de 88.34% par rapport au poids frais racinaire), la dose 1.25% a le quatrième poids avec  $0.2 \pm 0.02$  g et une diminution de 23.07% par rapport au témoin (0%). La dose 2.5% ( $0.22 \pm 0.01$  g) a un poids grand que la dose précédente 1.25% (+09.09%) mais toujours reste au-dessous du témoin avec 15.38%,

suivi par la dose 3.75% qui a un poids de  $0.20 \pm 0.02$  g et une réduction de 21.92%, arrivant à la dernière dose 5% ayant un poids de  $0.18 \pm 0.02$  g et une diminution de 28.46% par rapport au témoin (0%). Pour les groupes homogènes, il existe deux : le premier (A) concernant le témoin et le deuxième (B) regroupant les autres doses de l'huile de moteur 1.25%, 2.5%, 3.75% et 5%.

#### 4.25. Effet du gasoil sur le poids sec aérien, racinaire et totale du soja

La figure 64 démontre une diminution de tous les poids secs (total, aérien et racinaire) quand la dose du gasoil est augmentée. La dose 0% enregistre respectivement des valeurs de  $2.86 \pm 0.15$  g /  $2.46 \pm 0.17$  g /  $0.4 \pm 0.02$  g (avec une diminution de 78.26%, 76.48% et 85.13% par rapport au poids frais total, aérien et racinaire), les valeurs de la dose 0.125% sont diminuées par rapport au témoin avec 18.53% ( $2.33 \pm 0.10$  g) / 17.88% ( $2.02 \pm 0.13$  g) / 25.00% ( $0.30 \pm 0.03$  g), suivies par la dose 0.25% avec  $1.32 \pm 0.01$  g /  $1.03 \pm 0.02$  g /  $0.29 \pm 0.01$  g et une réduction de 53.84%, 58.13% et 27.50%, arrivant à  $1.18 \pm 0.15$  g (- 58.53%) /  $0.92 \pm 0.17$  g (- 62.60%) /  $0.26 \pm 0.02$  g (- 33.50%) caractérisant la dose 0.375%, et en dernier point, on a la grande dose 0.5% et les petites valeurs avec  $0.96 \pm 0.03$  g /  $0.75 \pm 0.04$  g /  $0.21 \pm 0.01$  g et une diminution atteinte à 66.43%, 69.51% et 47.50% respectivement par rapport au témoin.



**Figure 64.** L'effet du gasoil sur le poids sec aérien, racinaire et total du soja *Glycine max* (annexe 31 / tableaux 113, 114, 115).

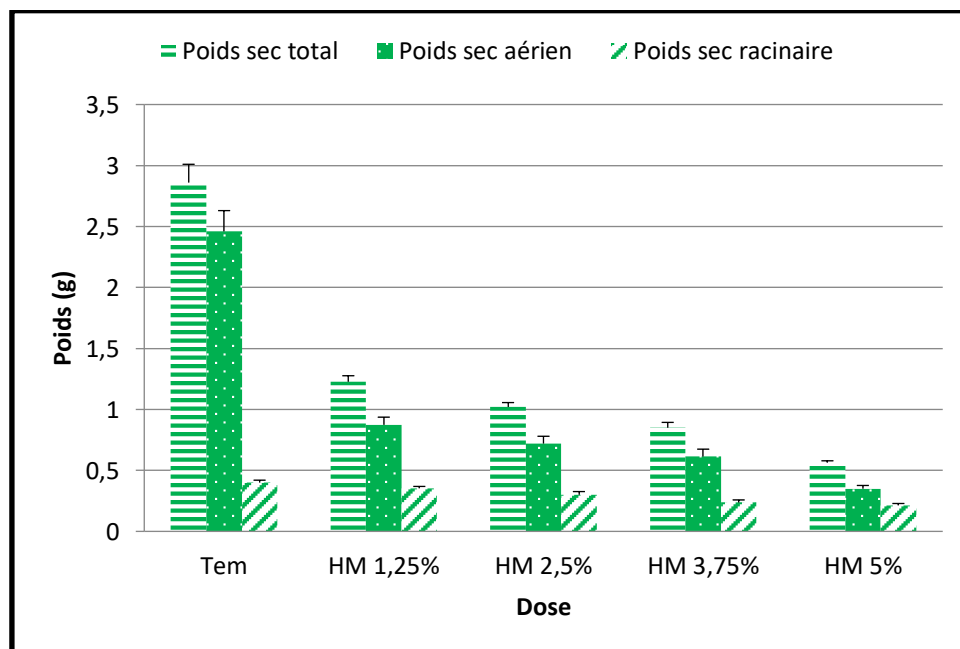
L'analyse statistique enregistre un effet hautement significatif pour le poids sec racinaire, aérien et total avec l'existence de 03 groupes homogènes dans le poids racinaire : le premier (A) pour le témoin, le deuxième (B) pour les doses 0.125%, 0.25% et 0.375%, et le troisième (C) pour la dose 0.5%. Pour le poids sec aérien, il y a 05 groupes homogènes où

la dose 0% prend le groupe (A), la dose 0.125% prend le groupe (B), les doses 0.25% et 0.375% prennent les groupes (C) et (CD) respectivement, et la dose 0.5% est mise dans le groupe (D). Le poids total a 05 groupes homogènes (A), (B), (C), (D) et (E) caractérisant respectivement les doses 0%, 0.125%, 0.25%, 0.375% et 0.5%.

#### 4.26. Effet de l'huile de moteur sur le poids sec aérien, racinaire et totale du soja

L'analyse statistique de l'effet de l'huile de moteur usée montre un effet hautement significatif pour les trois poids secs du soja (**figure 65**). Pour le poids racinaire, on remarque 04 groupes homogènes : (A) concerne le témoin avec  $0.4 \pm 0.02$  g, (B) concerne la dose 1.25% avec  $0.35 \pm 0.01$  g, (C) distingue la dose 2.5% avec  $0.3 \pm 0.01$  g, et le groupe (D) qui regroupe les doses 3.75% et 5% avec  $0.23 \pm 0.02$  g et  $0.21 \pm 0.01$  g respectivement.

Concernant le poids sec aérien, la dose 0% ( $2.46 \pm 0.17$ g) est située dans le premier lieu et exactement dans le groupe (A), les doses suivantes ont été considérablement diminuées avec des valeurs de  $0.87 \pm 0.06$  g,  $0.72 \pm 0.06$  g,  $0.61 \pm 0.06$  g et  $0.35 \pm 0.02$  g pour les doses 1.25%, 2.5%, 3.75% et 5% situées respectivement dans les groupes (B), (BC), (C) et (D).



**Figure 65.** L'effet de l'huile de moteur usée sur le poids sec aérien, racinaire et total du soja *Glycine max* (annexe 65 / tableaux 227, 228, 229).

Le poids sec total est la somme du poids aérien et racinaire, donc il suit le poids aérien avec une différence entre la première dose 0% ayant  $2.86 \pm 0.15$  g et placée dans le groupe (A), et les autres doses de l'huile 1.25%, 2.5%, 3.75% et 5% regroupées respectivement comme (B), (C), (D) et (E) et une grande chute varie entre 57.34% et 80.06% par rapport au témoin.

#### 4.27. Effet du gasoil sur le nombre d'épis de l'orge

Dans la figure 66, le nombre d'épis de l'orge est diminué selon l'augmentation de la dose du gasoil où le témoin porte 03 épis par plante, les doses 0.125% et 0.25% possèdent 02 épis et les deux dernières doses 0.375% et 0.5 produisent juste 01 épis.

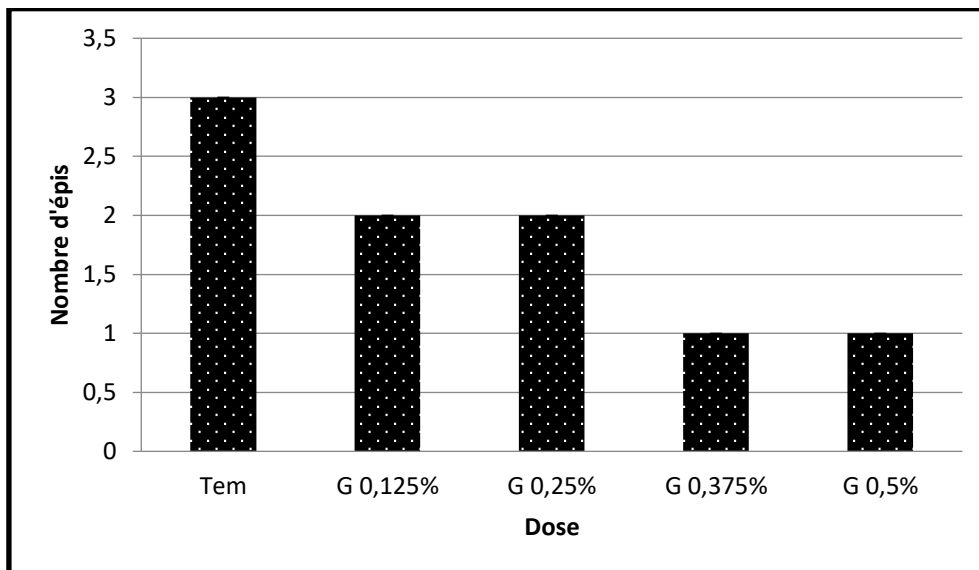


Figure 66. L'effet du gasoil sur le nombre d'épis par plante de l'orge *Hordeum vulgare*.

#### 4.28. Effet de l'huile de moteur sur le nombre d'épis de l'orge

Pour la figure 67, l'huile affecte négativement l'augmentation du nombre d'épis de l'orge. Les doses 5%, 3.75% et 2.5% ne produisent qu'un (01) seul épi par plante ; par contre, la dose 1.25% produit 02 épis et la dose 0% (témoin) produit le plus grand nombre (03 épis).

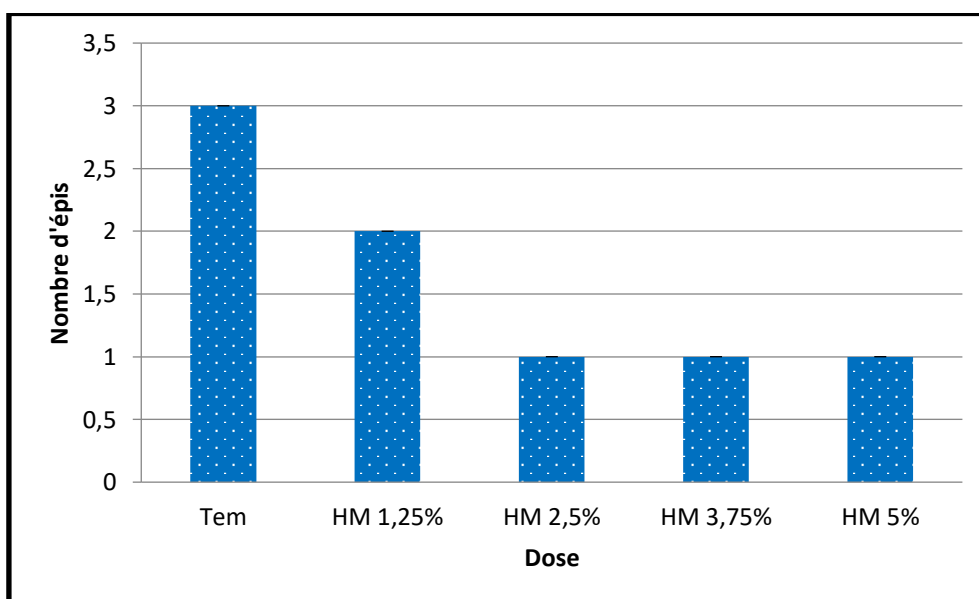
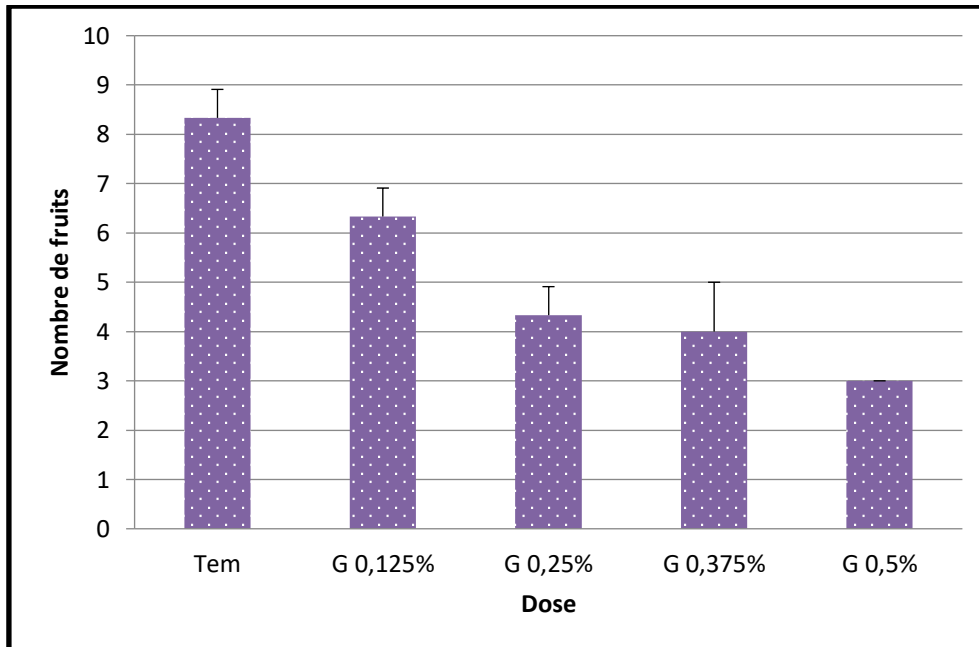


Figure 67. L'effet de l'huile de moteur utilisée sur le nombre d'épis par plante de l'orge *Hordeum vulgare*.

#### 4.29. Effet du gasoil sur le nombre de fruits (cornes) du soja

L'analyse statistique révèle un effet hautement significatif de doses du gasoil sur le nombre de cornes par plante du soja (**figure 68**). Le témoin (0%) porte  $8.33 \pm 0.57$  fruits et la dose 0.125% porte  $6.33 \pm 0.57$  fruits ; par contre, les trois dernières concentrations 0.25%, 0.375% et 0.5% produisent respectivement  $4.33 \pm 0.57$ ,  $4 \pm 1.00$  et  $3 \pm 0.00$  fruits par plante avec une réduction allant de 24.00% jusqu'à 63.98% par rapport au témoin.



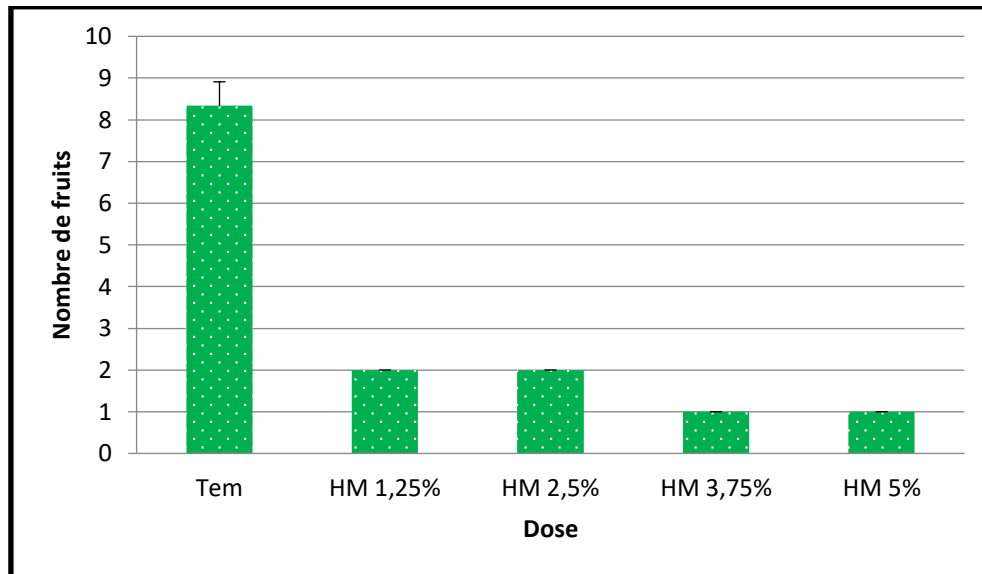
**Figure 68.** L'effet du gasoil sur le nombre de fruits (cornes) par plante du soja *Glycine max*.

L'analyse de la variance ANOVA montre la présence de 03 groupes homogènes : le groupe (A) représentant le témoin, le groupe (B) représentant la dose 0.125%, et le groupe (C) regroupant les doses 0.25%, 0.375% et 5%.

#### 4.30. Effet de l'huile de moteur le nombre de fruits (cornes) du soja

Pour le soja, les doses de l'huile ont un effet négatif plus la concentration est élevée sur le nombre de cornes où on remarque que la dose 0% (témoin) a  $8.33 \pm 0.57$  fruits par plante, les doses suivantes 1.25% et 2.5% ont  $2 \pm 0.00$  fruits (diminution de 75.99%) et les deux dernières doses 3.75% et 5% ne produisent que  $1 \pm 0.00$  corne par plante du soja avec une réduction de 87.99% (**figure 69**).

Trois (03) groupes homogènes existent lors de l'analyse statistique ANOVA : le témoin prend le groupe (A), les doses 1.25% et 2.5% prennent le groupe (B) et les deux dernières concentrations 3.75% et 5% sont mises dans le groupe (C).



**Figure 69.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur le nombre de fruits (cornes) par plante du soja *Glycine max.*

#### 4.31. Discussion

Concernant les paramètres morphologiques, les résultats montrent que la longueur est diminuée proportionnellement avec l'augmentation des doses du gasoil ou bien de l'huile de moteur dans les deux plantes (l'orge et le soja) soit pour la longueur aérienne ou racinaire ou même totale avec une réduction significative bien marquée dans les doses de l'huile de moteur que dans les concentrations du gasoil.

Ces résultats sont en accord avec les conclusions des effets négatifs enregistrés de l'huile de moteur comme contaminant du sol sur la croissance de *Ricinus communis* et *Parkinsonia aculeata* (Vwioko et Fashemi, 2005 ; Muhammad *et al.*, 2016), et de phénanthrène chez *Arabidopsis sp* (Alkio *et al.*, 2005).

D'après Baker (1970), les symptômes causés par la contamination avec le pétrole (ou bien ses dérivés) sont innombrables et ne sont généralement pas spécifiques. La même substance peut induire des effets différents chez les différentes espèces, et à l'inverse, les mêmes symptômes peuvent résulter d'une exposition à différentes substances. Alerte *et al.*, (2008) ont conclu que la longueur plus courte des plantules de *Corchorus olitorius* L. (Tiliaceae) dans le sol contaminé par l'huile a été causée par la disponibilité de l'eau réduite dans le sol. Selon Hester et Mendelsohn (2000), la croissance des plantes pourrait être entravée par les altérations physiques et chimiques du sol causée par le pétrole. La présence des hydrocarbures peut modifier la fertilité du sol (Wyszkowska *et al.*, 2001, 2002). Par conséquent, un déséquilibre nutritionnel peut avoir eu lieu dans les semis aux sols contaminés, entraînant une faible croissance et même une très faible production de biomasse.

(Muhammad *et al.*, 2016) ont observé une nette diminution dans la racine, la tige, la longueur des semis et la productivité de *Parkinsonia aculeata* à la concentration la plus élevée (5%) du traitement des sols pollués par l'huile de moteur par rapport au témoin. Cette diminution peut-être à cause de la grande variété d'éléments, dans l'hydrocarbure utilisé, tels que le carbone, l'hydrogène, le soufre, l'azote et l'oxygène (Maranho *et al.*, 2009).

Pour s'adapter au stress, la plante peut éviter les dommages par la réduction de la croissance (Zhu, 2002). C'est l'effet le plus commun des stress abiotiques sur la physiologie des plantes ; la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages seront irréversibles (Bois, 2005).

La croissance réduite des plantules dans le sol contaminé a également été enregistrée chez d'autres espèces. Kuhn *et al.*, (1998) ont signalé une diminution de la taille de *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae) de plantules cultivées dans des sols contaminés par l'huile. Le même phénomène a été rapporté par Proffitt *et al.*, (1995) chez les plantules de *Rhizophora mangle* L (Rhizophoraceae) qui poussent dans le sol contaminé par l'huile, avec une réduction de 50% de la croissance. Alkio *et al.*, (2005) ont observé, aussi, plusieurs effets de phénanthrène chez *Arabidopsis sp.*, y compris la réduction de la croissance de la tige et de la racine, la floraison tardive et l'apparition de points blancs qui ont développé dans des lésions de nécrose.

En effet, plusieurs travaux conduits sur le blé dur (graminées) indiquaient que la réduction de l'accroissement des tiges est une stratégie d'adaptation à la contrainte saline (Ben Naceur *et al.*, 1999). D'après Ontod Tshi-Tshi *et al.*, (2013), la réduction de croissance des plantes de roselle, pourrait également provenir d'un déficit d'absorption minérale d'un ou plusieurs éléments (oligo-éléments ou macro-éléments), aboutissant à une réduction de croissance pariétale des cellules, donc à la réduction de la croissance végétative des plantes. Comme la croissance des plantes est contrôlée par des signaux hormonaux (Heller, 1990), le stress provoque une augmentation de la concentration en acide abscissique (ABA) dans la partie où il y a une réduction des concentrations en cytokinines. Ceci résulte en une croissance et une transpiration réduite (Bois, 2005).

Le nombre de feuilles est réduit avec le gasoil où la diminution atteint, dans la dernière dose, 52.63% dans l'orge et 31.57% dans le soja par rapport au témoin, cette diminution est

augmentée dans les doses de l'huile de moteur et atteinte 57.89% dans l'orge et 47.36% dans la dernière dose 5% du soja. Ce déclin est reflété sur la surface foliaire totale qui est diminuée avec 70.94% par le gasoil et 84.45% par l'huile de moteur dans l'orge et avec 65.97% par la dernière dose du gasoil et 76.90% par l'huile de moteur usée dans les plantes du soja avec la remarque d'un jaunissement des feuilles.

Ces résultats sont en concordance avec ceux obtenus par **Adenipekun et al., (2008, 2009)** qui ont indiqué que les semis de *Corchorus olitorius* dans les sols contaminés par le pétrole avaient un nombre de feuilles et une surface foliaire plus faibles que ceux dans des sols non contaminés. Cependant, **Alkio et al., (2005)** ont signalé que la diminution de la taille et du nombre de feuilles d'*Arabidopsis thaliana* L. Heynh. (Brassicaceae) dans le sol contaminé par le phénanthrène a été causé par l'effet toxique de l'absorption de contaminants par les plantes.

Les travaux de **Mansour (1996)** sur l'orge (avec l'utilisation du NaCl) ont montré une réduction croissante des feuilles. Cette réduction de la surface foliaire est attribuée à un ralentissement des divisions cellulaires ou à une diminution de l'expansion cellulaire. Donc, les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite. Selon **Munns (2002)**, la croissance végétative, et particulièrement l'expansion des feuilles, est sévèrement inhibée par le stress, les nouvelles feuilles se développent lentement et la sénescence des anciennes s'accélère. **Viégas et Silveira (1999)**, ont montré que le traitement salin mène aussi à la réduction de la surface foliaire totale. En plus, les symptômes de sénescence et de nécrose sont visibles au niveau des feuilles, ces symptômes peuvent être le résultat d'excès de Na<sup>+</sup> et de Cl<sup>-</sup> qui provoque la chlorose et ensuite la mort des feuilles adultes. Les symptômes de chlorose observés sur les feuilles peuvent provenir directement de l'excès de manganèse, ou indirectement du déficit minéral (probablement calcique) des plantes étudiées (**Ontod Tshi-Tshi et al., 2013**).

Dans une autre enquête, **Maranho et al., (2006a)** ont étudié les effets de la pollution pétrolière sur la structure de la feuille de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. (Podocarpaceae) et ont conclu que l'anatomie de feuilles a révélé une grande variabilité liée à la pollution. **Proffitt et al., (1995)**, étudiant des plantules de *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae), ont observé aussi une diminution de la biomasse sèche et de la surface foliaire chez les individus cultivés dans des sols contaminés par le pétrole. Par conséquent, c'est la concentration résultante dans les feuilles qui est responsable des dommages. La perte nette de productivité de la feuille est alors finalement responsable de la perte du rendement

(Munns et Termaat, 1986). Si le taux, auquel les feuilles meurent, devient plus rapide que le taux auquel les nouvelles feuilles grandissent, la surface foliaire photosynthétique diminuera, avec ou sans réduction de la photosynthèse. La production de carbohydrates déclinera, et l'énergie n'est plus suffisante pour soutenir la croissance.

La diminution de la surface foliaire, ratio surface foliaire et le taux de croissance relative de *Vigna unguiculata* a été interrompé en raison de la pollution par le mélange essence/diesel, alors que la réponse de riz ne s'applique pas à ce modèle (Fortmeier et Shubert, 1995). Muhammad *et al.*, (2016) ont aussi montré l'influence négative des sols pollués à une concentration de 2,5% de l'huile sur la surface foliaire de *Parkinsonia aculeata* par rapport au traitement du sol témoin.

Il est clair que les plantes réagissent de différentes manières aux contaminants et que les plantules sont plus sensibles à la contamination. La diminution de la taille des feuilles est probablement le résultat d'une absorption réduite des nutriments et de l'eau, affectant le développement de la surface car une telle absorption est essentielle pour la croissance de la plante (Proffitt *et al.*, 1995 ; Adenipekun *et al.*, 2009). Agbogidi *et al.*, (2006) ont suggéré que le nombre réduit de feuilles et de surface foliaire indiqué pour *Dennettia tripetala* Baker f. (Annonaceae), poussant dans le sol contaminé, a été causé par le stress hydrique résultant de l'immobilisation des nutriments et par les modifications de l'activité de certains métabolites dans la plante.

Nos doses du gasoil et l'huile de moteur influencent avec le temps sur le nombre de talles des plantes d'orge où ces dernières ne produisent qu'une talle dans les dernières concentrations soit pour le gasoil ou pour l'huile de moteur usée en comparant avec le témoin qui a donné quatre talles par plante.

Le pétrole (ou ses dérivés) sont phytotoxiques, parce qu'ils créent des conditions insatisfaisantes pour la croissance des plantes allant de la toxicité par les métaux lourds à inhiber l'aération du sol. Raja et Ridha (2014), qui ont travaillé sur l'effet des margines sur les différents stades phénologiques de l'orge, ont dit que leurs résultats obtenus peuvent être expliqués par le fait que la concentration excessive des sels au niveau de la plante suite à la salinité apportée par les margines et/ou à l'eau d'irrigation a créé un déséquilibre ionique limitant l'approvisionnement des plantes en éléments minéraux ( $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{K}^+$ ) nécessaires à leur croissance se traduisant par des dysfonctionnements physiologiques menant à une affectation de développement d'épis et même d'une inhibition au niveau du stade tallage.

Pour le poids, les résultats de notre expérience ont enregistré une chute significative proportionnelle contre l'augmentation des doses du gasoil pour atteindre 61.04% dans l'orge et 59.95% dans le soja et a augmenté à 66.56% et 77.33% respectivement pour l'huile de moteur usée. Ça pour le poids frais, mais concernant le poids sec, l'influence négative du gasoil a resté croître arrivant à 65.5% et 66.43% respectivement pour l'orge et le soja et a atteint le sommet dans la grande dose de l'huile de moteur (5%) avec 80.5% et 80.06% respectivement pour les deux plantes testées.

Selon **Bona et Santos (2003)**, l'huile diminue la capacité du sol à retenir l'eau, donc interférer avec la croissance des plantes. Elle continue diminuer, dans le poids sec, des semis de *Parkinsonia aculeata*. La réduction de la biomasse végétale par la présence de pétrole dans le sol a été signalée dans de nombreux documents (**Adam et Duncan, 2003 ; Merkl et al., 2004, 2005 ; De Farias et al., 2009 ; Peng et al., 2009 ; Inckot et al., 2011 ; Redondo Gomez et al., 2014 ; Xun et al., 2015**). Une telle inhibition de la croissance des plantes devrait être une conséquence du stress imposé par la présence de pétrole (**Huang et al., 2005 ; Ramos et al., 2009**).

Les chercheurs (**Proffitt et al., 1995 ; Green et al., 1996 ; Kuhn et al., 1998 ; Brandt et al., 2006 ; Daniel-Kalio et Pepple, 2006**) sont aussi observés des réductions en taille et dans la production de biomasse. **Merkl et al., (2004)** et **Chaîneau et al., (1997)** ont enregistré une réduction de 85 et 90% de la biomasse de *Brachiaria brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) Stapf (Poaceae) et *Panicum maximum* Jacq. (Poaceae), respectivement. **Brandt et al., (2006)** ont trouvé que la réduction de croissance et biomasse observée chez *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash (Poaceae) dans le sol contaminé était liée à la teneur en nutriments.

**Redondo-Gomez et al., (2014)** ont souligné qu'une augmentation de la concentration en diesel entraînerait un effet négatif aggravant sur la croissance de *Sodalitys argentinensis*, ce qui pourrait être la conséquence d'une photosynthèse continuellement réduite. **Lin et Mendelssohn (1996)** ont également indiqué que la réduction de la biomasse de *Spartina patens* était probablement due à une réduction substantielle de la photosynthèse pendant la période de croissance vigoureuse (en août) et à une tendance à la baisse de la biomasse et du taux de photosynthèse. En fait, l'ion potassium  $K^+$  étant un activateur de beaucoup d'enzymes essentielles pour la photosynthèse et la respiration (**Rengel, 1992 ; Salisbury et Ross, 1992**), les insuffisances en  $K^+$  et  $Ca^{2+}$  avec l'augmentation de l'accumulation de  $Na^+$  et de  $Cl^-$  auraient comme conséquence de l'inhibition de la photosynthèse d'où une réduction de la croissance de l'orge (**Soltani et al., 1990**).

**Daniel-Kalio et Pepple (2006)** ont constaté que l'intervalle du temps entre la contamination et l'établissement des semis a affecté la biomasse de *Commelina benghalensis* L. (Commelinaceae) parce que l'intervalle du temps a influencé la dégradation des hydrocarbures et la disponibilité des nutriments.

**Han et al., (2016)** ont conclu que le poids sec des pousses et des racines des semis d'*Amorpha fruticosa* ne présentait aucune différence statistique dans la concentration de pétrole de 5 g.kg<sup>-1</sup> (0,5%) par rapport au témoin. De plus, plus la concentration en pétrole est élevée, plus la diminution est importante, mais le rapport tige / racine avec la contamination par le pétrole étant toujours légèrement inférieur à celui sans contamination, et la différence entre eux est non significative. Avec un niveau extrêmement élevé (20 g.kg<sup>-1</sup> ou bien 2%) de contamination par le pétrole, les semis de la plante *Amorpha fruticosa* étaient encore vivants. Néanmoins, une diminution de 65,28% de la biomasse totale par rapport au témoin indique une détérioration importante du développement et de la santé de la plante.

On a marqué que l'orge n'a donné qu'un seul épi par plante quand la concentration a augmenté soit avec l'utilisation du gasoil ou de l'huile de moteur contrairement au témoin qui a produit quatre épis par plante. Le même phénomène est enregistré pour le nombre de cornes du soja devant l'huile de moteur, par contre il a donné trois cornes avec l'utilisation de 0.5% du gasoil en comparant avec le témoin qui a produit huit cornes par plante.

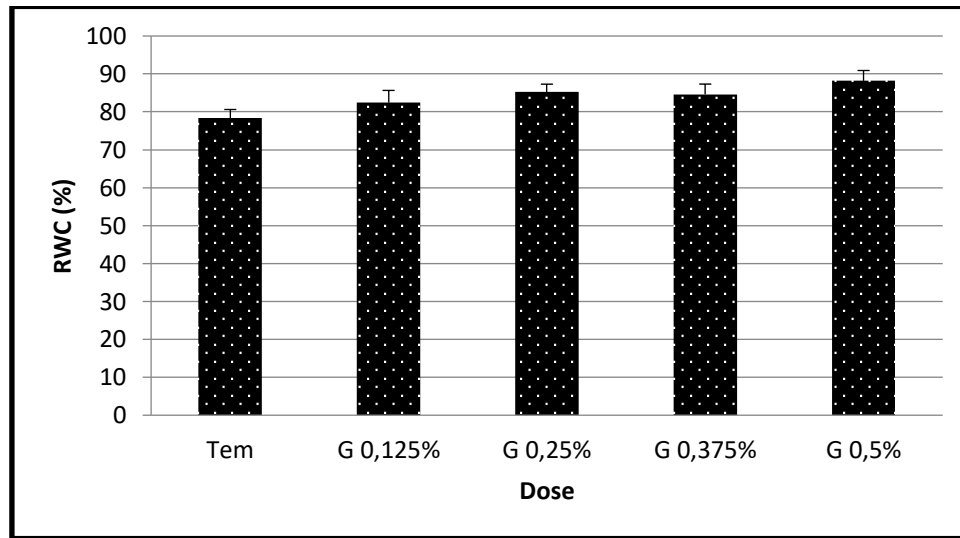
Selon **Souilah (2009)**, ce caractère est un indicateur de rendement car il participe à la photosynthèse et par voie de conséquence à la formation du grain, il est considéré comme étant un critère de sélection, qu'il faut protéger et enrichir. Le nombre d'épis / m<sup>2</sup> obtenues chez la variété testée Saida est varié entre 167 et 220, toute fois l'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative ce qui se traduit par l'effet négative de la salinité sur la formation des épis (**Saadollah et al., 2005**).

Il y avait une tendance similaire des effets négatifs de l'huile de moteur sur la productivité des *Parkinsonia aculeata* (**Muhammad et al., 2016**) car l'ajout de différents niveaux de l'huile de moteur peut conduire à certains changements physiques et chimiques dans les propriétés du sol selon la dose, qui se reflète sur les performances de croissance et de productivité des semis de *Parkinsonia aculeata* (**Atuanya, 1987 ; Agbogidi et Enujeke, 2012**). En plus, avec une contamination supérieure de l'huile usée (3,75-5%), les plantes de céréales sont très sensibles à cause une aération insuffisante du sol (**DeJong, 1980**).

## 5. Paramètres physiologiques

### 5.1. Effet du gasoil sur la teneur relative en eau TRE (RWC) de l'orge

La teneur relative en eau des feuilles de l'orge sous le stress du gasoil (**figure 70**) est élevée chez le témoin ( $78.34 \pm 2.28\%$ ), mais reste faible par rapport aux autres doses qui enregistrent des teneurs commençant par  $82.43 \pm 3.21\%$  (la dose 0.125%) et  $84.61 \pm 2.71\%$  (la dose 0.375%) passant par  $85.21 \pm 2.08\%$  (la dose 0.25%) et arrivant à  $88.15 \pm 2.74\%$  (la dose 0.5%), donc une augmentation varie entre 5.22% et 12.52% par rapport au témoin.



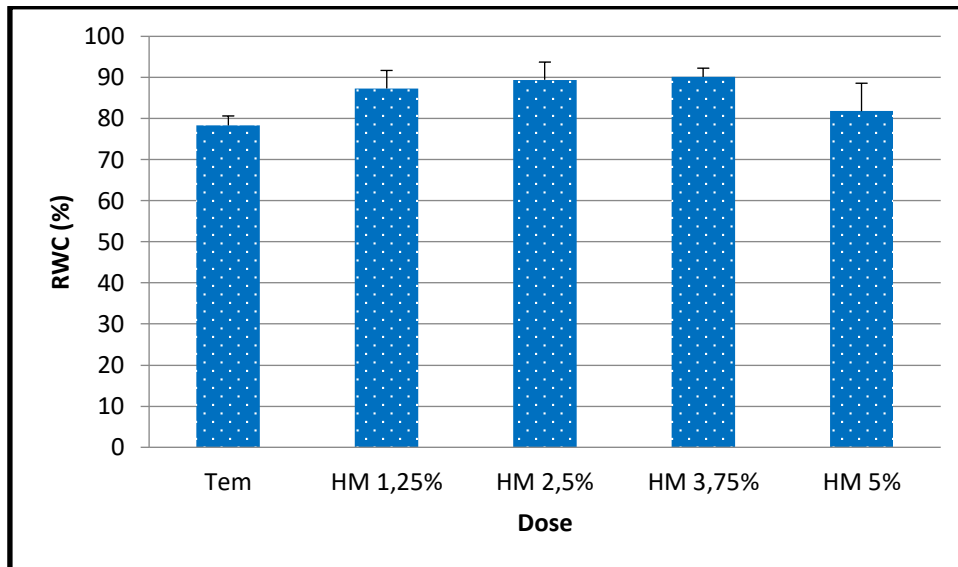
**Figure 70.** L'effet du gasoil sur la teneur relative en eau de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 15 / tableau 58).

L'analyse statistique basée sur les tests de comparaison des moyennes montre un effet significatif avec l'obtention de 03 groupes homogènes, le premier (A) regroupe les doses 0.5%, 0.25% et 0.375%, le deuxième (AB) existe pour la dose 0.125%, et le dernier (B) concerne le témoin.

### 5.2. Effet de l'huile de moteur sur la teneur relative en eau TRE (RWC) de l'orge

Les résultats de la **figure 71** montrent que l'effet de l'huile de moteur usée semble avoir été de nature à modifier la turgescence cellulaire. En effet, une augmentation allant de  $11.47 \pm 4.37\%$  et  $14.90 \pm 2.15\%$  est remarquée chez les feuilles stressées par les doses 1.25%, 2.5% et 3.75% de l'huile usée ; par contre, la grande dose (5%) n'enregistre qu'une évolution de 04.41% par rapport au témoin ( $78.34 \pm 2.28\%$ ).

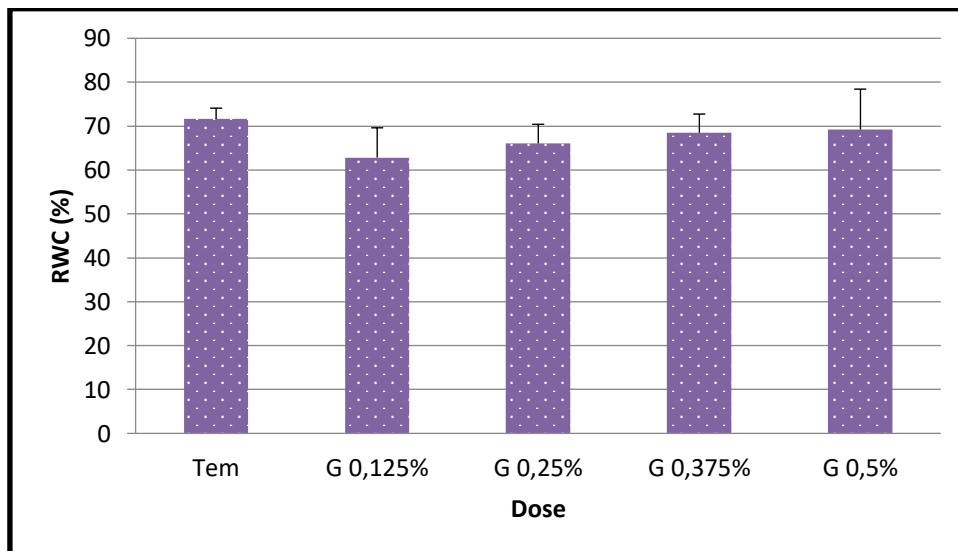
Pour l'analyse statistique, il existe un effet significatif et 03 groupes homogènes ; les doses 3.75% et 2.5% représentent le groupe (A), les doses 1.25% et 5% représentent le groupe (AB) et la dose 0% est caractérisée par le groupe (B).



**Figure 71.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur la teneur relative en eau de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 49 / tableau 172).

### 5.3. Effet du gasoil sur la teneur relative en eau TRE (RWC) du soja

La comparaison de l'évolution du pourcentage de la teneur relative en eau de feuilles du soja (**figure 72**) montre que le gasoil entraîne une diminution du pourcentage de l'eau, cette diminution est beaucoup plus accentuée pour la dose 0.125% ( $62.84 \pm 6.76\%$ ) que pour les doses 0.25% ( $66.07 \pm 4.33\%$ ), 0.375% ( $68.50 \pm 4.25\%$ ) et 0.5% ( $69.22 \pm 9.20\%$ ). Malgré l'évolution de RWC avec l'augmentation de doses du gasoil, mais le pourcentage reste inférieur au pourcentage du témoin qui atteint  $71.62 \pm 2.46\%$ .

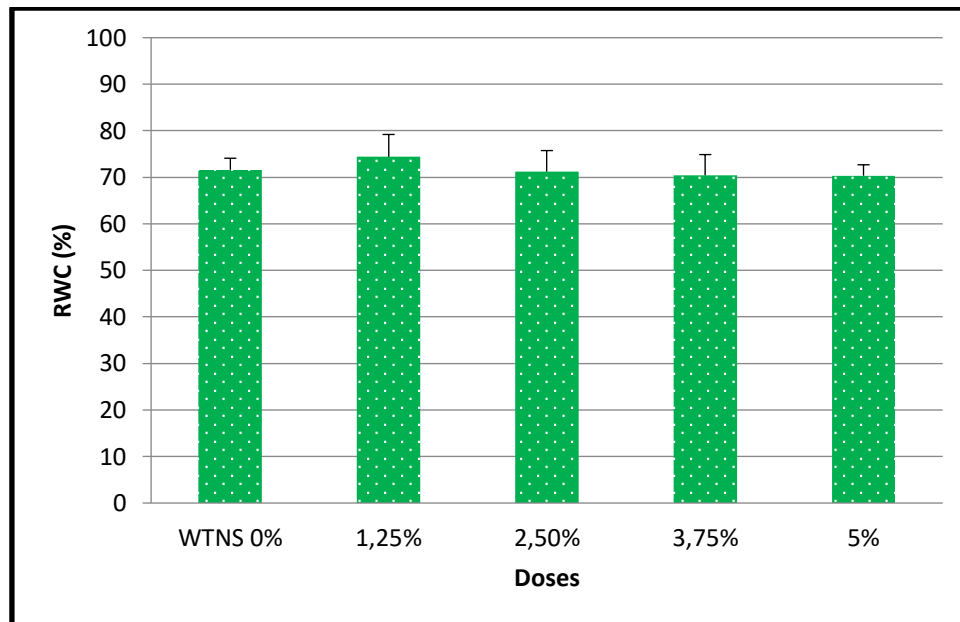


**Figure 72.** L'effet du gasoil sur la teneur relative en eau du soja *Glycine max* (annexe 32 / tableau 116).

Le test de comparaison des moyennes de Newman et Keuls révèle un effet non significatif du gasoil pour la teneur relative en eau des feuilles du soja.

#### 5.4. Effet de l'huile de moteur sur la teneur relative en eau TRE (RWC) du soja

La figure 73 illustre une augmentation de la teneur relative en eau dans la dose 1.25% ( $74.39 \pm 4.80\%$ ) par rapport au témoin qui enregistre une valeur de  $71.62 \pm 2.46\%$  ; mais après ça, on remarque une baisse à un taux très bas où les dernières doses de l'huile de moteur usée 2.5%, 3.75% et 5% enregistrent respectivement des teneurs de  $71.22 \pm 4.52\%$ ,  $70.43 \pm 4.44\%$  et  $70.34 \pm 2.46\%$ .



**Figure 73.** L'effet de l'huile de moteur usée sur la teneur relative en eau du soja *Glycine max* (annexe 66 / tableau 230).

L'analyse statistique (ANOVA) basée sur le test de Newman et Keuls montre un effet non significatif de l'huile de moteur sur la RWC des feuilles du soja.

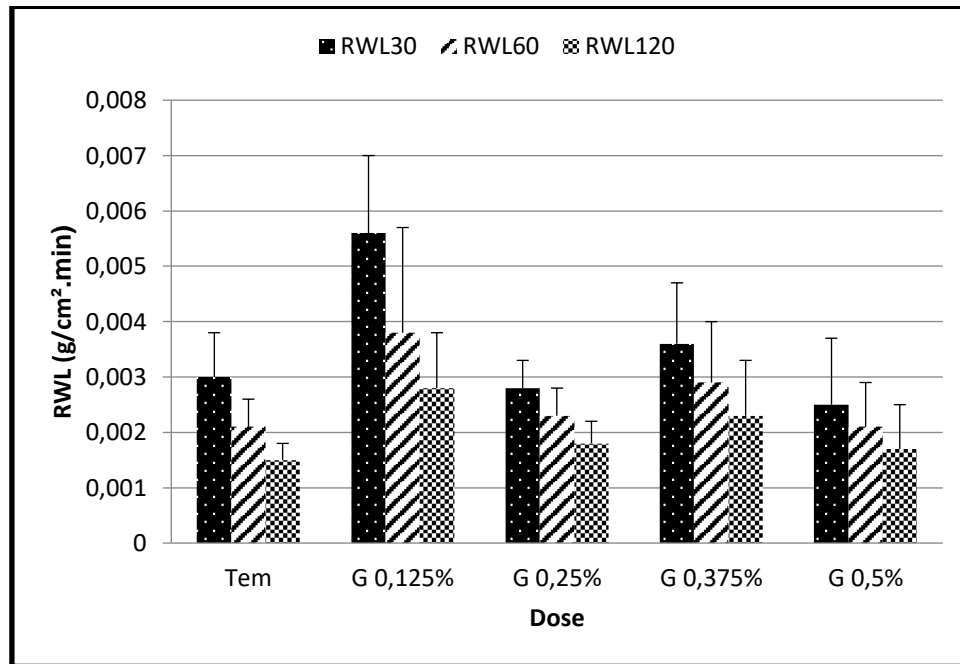
#### 5.5. Effet du gasoil sur le taux de déperdition d'eau (RWL) de l'orge

La figure 74 représentant l'évolution de la perte d'eau par la feuille de l'orge indique une diminution de la transpiration au cours du temps et en fonction du gasoil.

À 30 minutes, les quantités d'eau perdues par les feuilles dans le témoin sont de l'ordre  $0.0030 \pm 0.0008 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  ; cette valeur augmente à  $0.0056 \pm 0.0014 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  chez la dose 0.125% puis diminue à  $0.0028 \pm 0.0005 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  chez la dose 0.25% arrivant à  $0.0025 \pm 0.0012 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  pour la dose 0.5%.

À 60 minutes, les résultats sont diminués par rapport aux résultats à 30 minutes. Donc, le témoin enregistre une valeur de  $0.0021 \pm 0.0005 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ , la dose 0.125% enregistre  $0.0038 \pm 0.0019 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  arrivant à  $0.0021 \pm 0.0008 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  pour la dose 0.5%.

À 120 minutes, les valeurs s'atténuent par rapport à celles détectées après 30 et 60 minutes arrivant à  $0.0015 \pm 0.0003 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  pour le témoin,  $0.0028 \pm 0.0010 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  pour la dose 0.125% et  $0.0017 \pm 0.0008 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  pour la dernière dose (0.5%).



**Figure 74.** L'effet du gasoil sur le taux de déperdition d'eau de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 16 / tableaux 59, 60, 61).

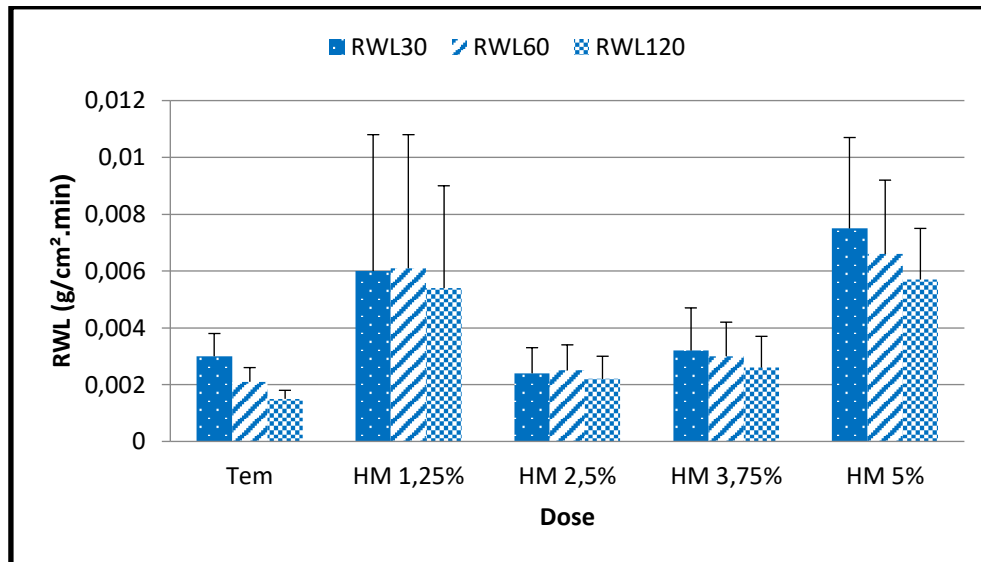
Les analyses de la variance ANOVA montrent un effet non significatif de RWL à 30, 60 et 120 minutes chez les feuilles de l'orge stressées par les doses du gasoil.

### 5.6. Effet de l'huile de moteur sur le taux de déperdition d'eau (RWL) de l'orge

La perte graduelle en eau, après 30 minutes, a fortement chuté dans les doses 1.25% ( $0.0060 \pm 0.0048 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ) et 5% ( $0.0075 \pm 0.0032 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ) par rapport au témoin ( $0.0030 \pm 0.0008 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ), mais pour les deux autres doses 2.5% et 3.75%, les valeurs sont presque similaires à la dose 0%.

Après 60 minutes, la perte d'eau est diminuée chez le témoin ( $0.0021 \pm 0.0005 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ) et les doses 3.75% ( $0.0030 \pm 0.0010 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ) et 5% ( $0.0066 \pm 0.0010 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ), mais pour les doses 1.25% et 2.5%, l'eau perdue est augmentée légèrement et atteinte respectivement  $0.0061 \pm 0.0047 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  et  $0.0025 \pm 0.0009 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ .

Le RWL continue à diminuer, à 120 minutes, dans le témoin et les autres doses (même pour les doses 1.25% et 2.5%) pour atteindre  $0.0015 \pm 0.0003 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  chez la dose 0% et  $0.0057 \pm 0.0018 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  chez la dernière dose 5% (**figure 75**).



**Figure 75.** L'effet de l'huile de moteur usée sur le taux de déperdition d'eau de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 50 / tableaux 173, 174, 175).

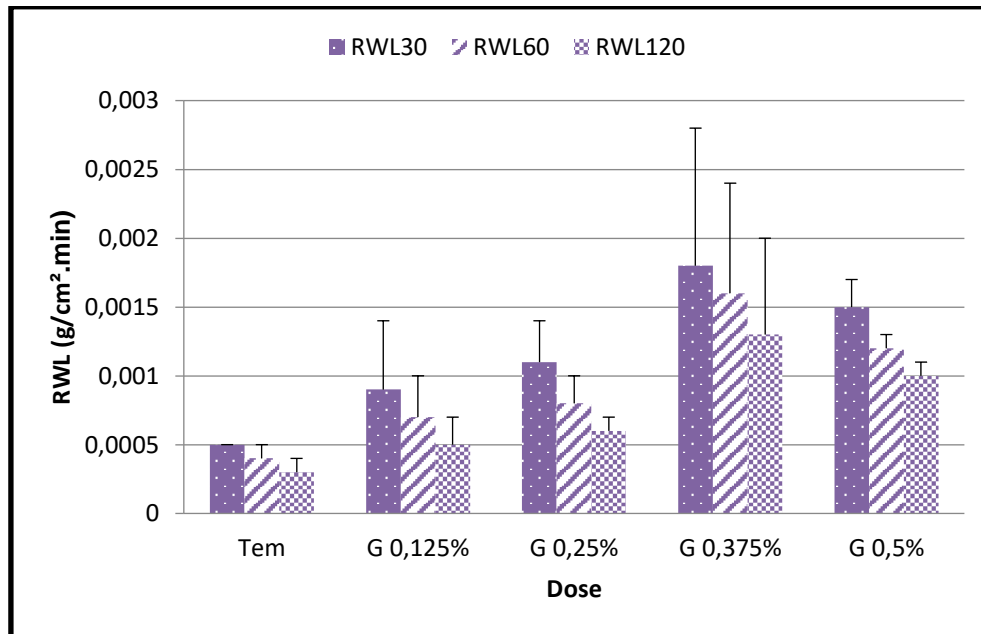
Le test de Newman et Keuls montre un effet non significatif de l'huile usée à 30, 60 et 120 minutes avec des probabilités variant respectivement entre 0,16 et 0,07.

### 5.7. Effet du gasoil sur le taux de déperdition d'eau (RWL) du soja

Les résultats obtenus pour la transpiration cuticulaire des feuilles du soja sous l'effet des doses du gasoil (**figure 76**) montrent une augmentation de RWL à 30 minutes commençant par  $0.0005 \pm 0.0000 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  (témoin) suivent par  $0.0009 \pm 0.0005 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  (la dose 0.125%),  $0.0011 \pm 0.0003 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  (la dose 0.25%),  $0.0015 \pm 0.0002 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  (la dose 0.5%) et arrivant à  $0.0018 \pm 0.0010 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  (la dose 0.375%), donc une augmentation de perte d'eau peut atteindre à 260%.

La perte graduelle d'eau est diminuée légèrement dans toutes les doses à 60 minutes et 120 minutes et s'installe respectivement à  $0.0004 \pm 0.0001 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  /  $0.0003 \pm 0.0001 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  chez le témoin et  $0.0016 \pm 0.0008 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  /  $0.0013 \pm 0.0007 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  chez la dose 0.375% avec une expansion de la différence (de la perte d'eau) aller à 300% et 333% à 60 et 120 minutes respectivement.

L'analyse statistique ne révèle pas une différence significative à 30 minutes. Par contre, et à 60 minutes, il existe un effet significatif ( $P = 0.03$ ) avec 03 groupes homogènes ; le premier (A) est pour la dose 0.375%, le deuxième (AB) regroupe les doses 0.5%, 0.25% et 0.125%, et le troisième (B) est spécifique à la dose 0%. Pour RWL à 120 minutes, 03 groupes homogènes apparaissent ( $P = 0.02$ ) : la dose 0.375% prend le groupe (A), les doses 0.5% et 0.25% prennent le groupe (AB) et les deux concentrations 0.125% et 0% s'installent dans le groupe (B).



**Figure 76.** L'effet du gasoil sur le taux de déperdition d'eau du soja *Glycine max* (annexe 33 / tableaux 117, 118, 119).

### 5.8. Effet de l'huile de moteur sur le taux de déperdition d'eau (RWL) du soja

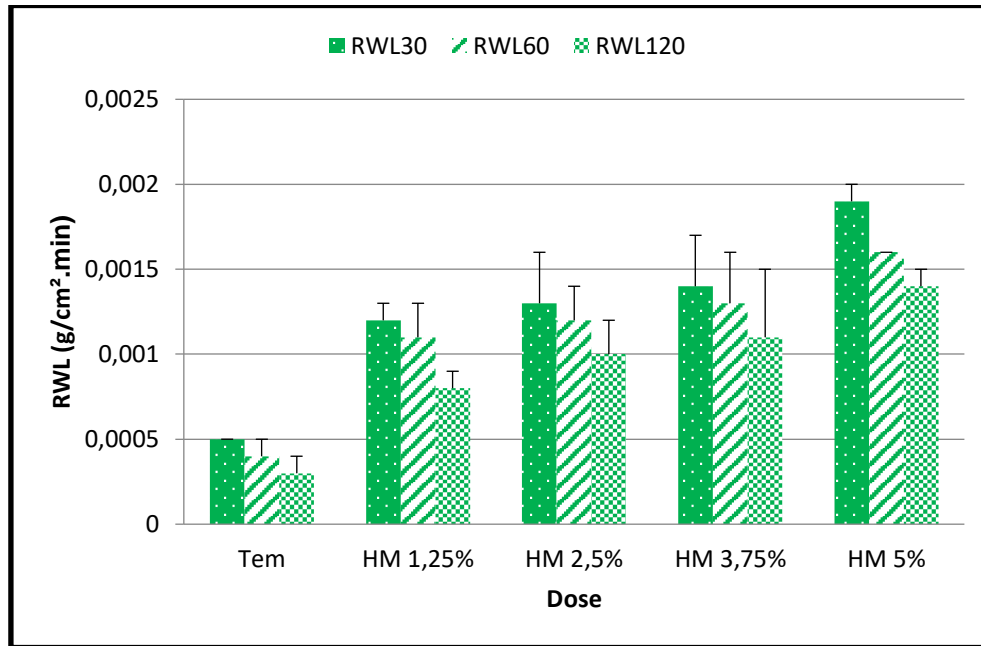
Les analyses statistiques de l'effet de l'huile utilisée sur le taux de déperdition d'eau des feuilles du soja montrent une différence hautement significative à 30, 60 et 120 minutes (**figure 77**).

À 30 minutes, on remarque l'existence de 03 groupes homogènes, le groupe (A) représentant la dose 5% ( $0.0019 \pm 0.0001 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ), le groupe (B) regroupant les doses 3.75% ( $0.0014 \pm 0.0003 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ), 2.5% ( $0.0013 \pm 0.0003 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ) et 1.25% ( $0.0012 \pm 0.0001 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ), et le groupe (C) qui est spécifique pour le témoin (0%) ( $0.0005 \pm 0.0000 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ).

À 60 minutes, 04 groupes homogènes apparaissent : la grande dose (5%) s'installe dans le premier groupe (A) avec une valeur de  $0.0016 \pm 0.0000 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ , la dose 3.75% s'installe dans le deuxième groupe (AB) avec  $0.0013 \pm 0.0003 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ , les doses 2.5% ( $0.0012 \pm 0.0002 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ) et 1.25% ( $0.0011 \pm 0.0002 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ) prennent le troisième groupe (B), et le témoin représente le dernier groupe homogène (C) avec une teneur de  $0.0004 \pm 0.0001 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ .

À 120 minutes, les valeurs de RWL restent diminuer formant aussi 04 groupes : (A), (AB), (B) et (C) s'installent respectivement pour la dose 5% (avec  $0.0014 \pm 0.0001 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ) / les doses (3.75% et 2.5%) avec  $0.0011 \pm 0.0004 \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  et  $0.0010 \pm 0.0002$

$\text{g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  / la dose 1.25% (avec  $0.0008 \pm 0.0001 \text{g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ ) / et le témoin qui atteint une valeur de  $0.0003 \pm 0.0001 \text{g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ .



**Figure 77.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur le taux de déperdition d'eau du soja *Glycine max* (annexe 67 / tableaux 231, 232, 233).

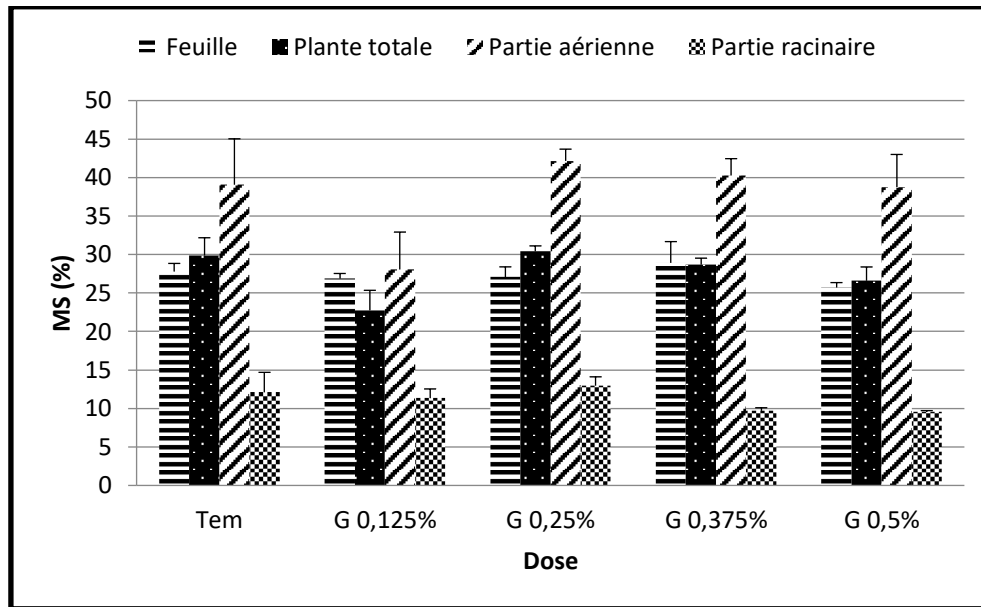
### 5.9. Effet du gasoil sur la matière sèche (MS) de l'orge

Les résultats de l'effet des différentes concentrations du gasoil sur la production de la matière sèche dans l'orge ont été résumés dans la **figure 78**.

Pour les feuilles, les résultats sont presque similaires, allant de  $27.78 \pm 1.05\%$  (dans la dose 0%) à des valeurs variées entre  $25.72 \pm 0.62\%$  et  $28.91 \pm 2.76\%$  pour les autres doses du gasoil. Ce qui montre qu'il n'y a pas une différence significative d'après l'analyse statistique.

Pour la partie aérienne, le pourcentage de la matière sèche est le plus grand parmi les parties de l'orge, il commence par  $39.06 \pm 5.96\%$  (dans le témoin), diminue à  $28.05 \pm 4.86\%$  (dans la dose 0.125%) et augmente à  $42.16 \pm 1.52\%$  (dans la dose 0.25%) comme la valeur la plus élevée disponible. Donc, l'analyse statistique montre 02 groupes homogènes : (A) figurant la dose 0.125% et (B) regroupant les différentes autres doses du gasoil.

Pour la partie racinaire, la matière sèche prend des valeurs entre  $9.56 \pm 0.15\%$  (dans la dose 0.5%) et  $12.96 \pm 1.14\%$  (dans la dose 0.25%) en comparant avec le témoin qui enregistre une valeur de  $12.10 \pm 2.59\%$ . Cette non différenciation conduit que le test de l'analyse donne un résultat non significatif.



**Figure 78.** L'effet du gasoil sur la matière sèche de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 17 / tableaux 62, 63, 64, 65).

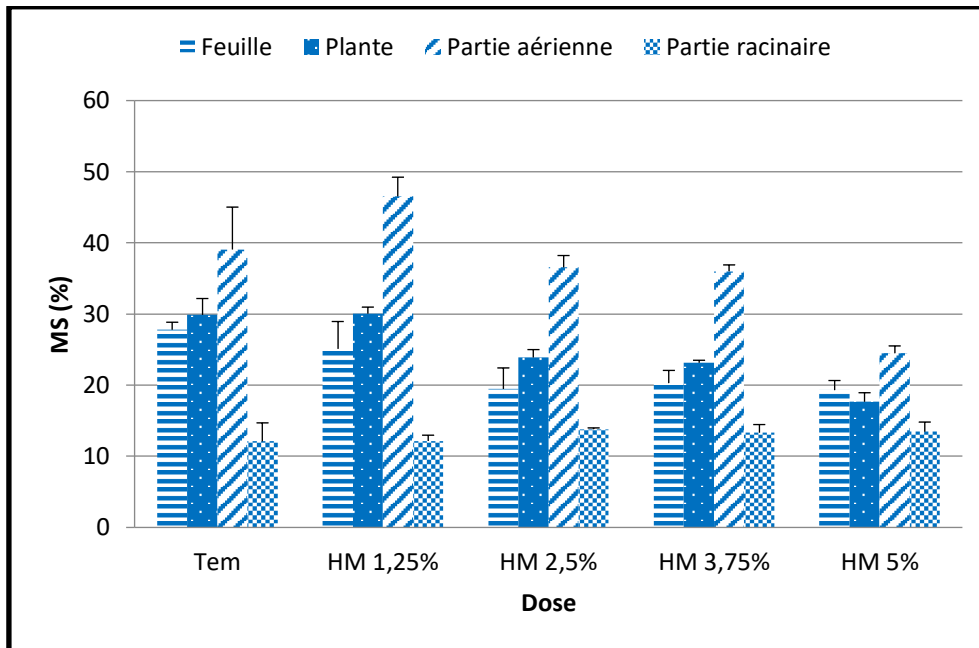
Le pourcentage de la matière sèche totale est presque la moyenne des différentes parties de la plante. Le témoin (0%) enregistre une teneur de  $29.87 \pm 2.30\%$  et les autres doses prennent des valeurs de  $22.74 \pm 2.60\%$  à  $30.43 \pm 0.68\%$  conduisant à la production de 02 groupes homogènes (d'après l'analyse statistique). Le groupe (A) rassemble les doses 0.25%, 0%, 0.375% et 5% et le groupe (B) distingue la dose 0.125%.

#### 5.10. Effet de l'huile de moteur sur la matière sèche (MS) de l'orge

De l'analyse de la **figure 79**, il est ressorti que les doses de l'huile de moteur exercent une diminution de la matière sèche, dans les feuilles de l'orge, de  $27.78 \pm 1.05\%$  (dans le témoin présent dans le groupe homogène A) à  $25.09 \pm 3.84\%$  (dans la dose 1.25% présente dans le groupe AB) à des valeurs entre  $20.29 \pm 1.77\%$  et  $19.30 \pm 1.34\%$  (dans les trois dernières doses présentes dans le groupe B).

Dans la partie racinaire de l'orge, le taux de la matière sèche est trop faible. On remarque une augmentation très légère par rapport au témoin ( $12.10 \pm 2.59\%$ ) atteinte à  $13.45 \pm 1.36\%$  (dans la dose 5%), donc, pas d'effet significatif entre les différentes doses (d'après l'analyse statistique).

Dans la partie aérienne, les teneurs de la matière sèche sont réduites de  $39.06 \pm 5.96\%$  (la dose 0%) à  $24.49 \pm 1.01\%$  (la dose 5%) passant par  $36.55 \pm 1.66\%$  et  $36.01 \pm 0.88\%$  (les doses 2.5% et 3.75%), sauf la dose 1.25% où il y a une augmentation à  $46.53 \pm 2.70\%$ . De ces résultats, l'analyse statistique donne 03 groupes homogènes : (A) représentant la dose 1.25%, (B) regroupant les doses 0%, 2.5% et 3.75%, et (C) distinguant la dose 5%.



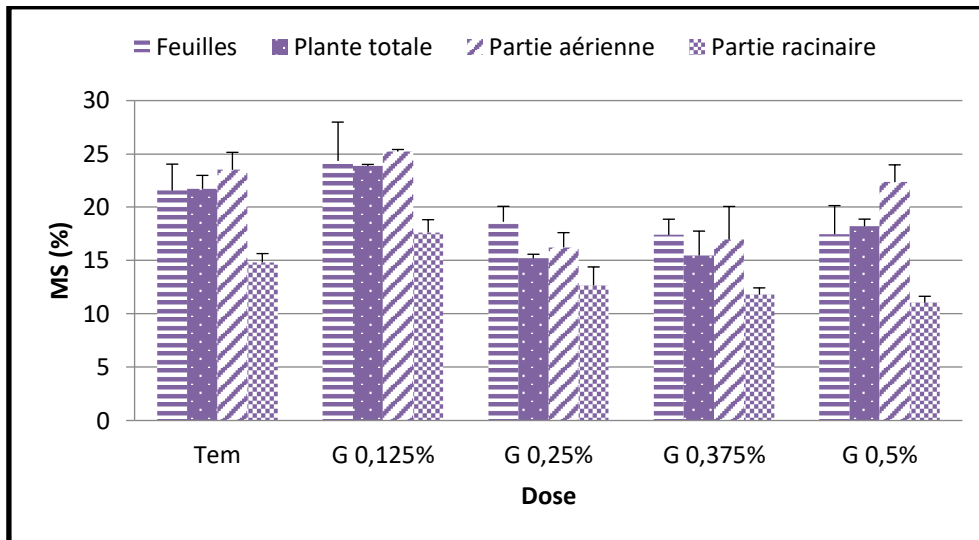
**Figure 79.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur la matière sèche de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 51 / tableaux 176, 177, 178, 179).

La matière sèche de la plante totale, comme conséquence des différentes parties, donne des résultats diminuant de  $29.87 \pm 2.30\%$  (dans le témoin) à  $17.66\% \pm 1.27\%$  (dans la dose 5%), sauf que dans la dose 1.25% qui enregistre une valeur de  $30.05 \pm 0.92\%$  (grande que le témoin). Alors, l'analyse statistique montre l'existence de 03 groupes homogènes : les doses 1.25% et 0% sont dans le premier groupe (A), les deux doses 2.5% et 3.75% sont remplacées dans le deuxième groupe (B), et la dernière dose (5%) est mise dans le dernier groupe (C).

### 5.11. Effet du gasoil sur la matière sèche (MS) du soja

Pour le soja, la figure 80 montre des teneurs descendant de  $21.56 \pm 2.47\%$  (le témoin) vers  $17.40 \pm 1.47\%$  (la dose 0.375%) sous le stress du gasoil, sauf que dans la dose 0.125% où la matière sèche foliaire atteinte  $24.33 \pm 3.64\%$  (grand que le témoin). Ça pour les feuilles, mais pour la partie racinaire, la matière sèche est faible et enregistre dans le témoin  $14.84 \pm 0.80\%$ , cette valeur est montée à  $17.64 \pm 1.18\%$  (dans la dose 0.125%) puis régressée vers  $12.68 \pm 1.71\%$  à  $11.05 \pm 0.59\%$  dans les autres doses. Dans la partie aérienne, les doses du gasoil prennent des valeurs variées entre  $25.22 \pm 0.19\%$  et  $16.23 \pm 1.37\%$  par rapport au témoin qui enregistre  $23.50 \pm 1.64\%$ .

Donc, la matière sèche totale porte des teneurs de  $21.73 \pm 1.25\%$  (dans le témoin),  $23.87 \pm 0.13\%$  (la dose 0.125%),  $15.20 \pm 0.38\%$  (la dose 0.25%),  $15.48 \pm 2.28\%$  (la dose 0.375%) et  $18.22 \pm 0.66\%$  (la dose 0.5%).



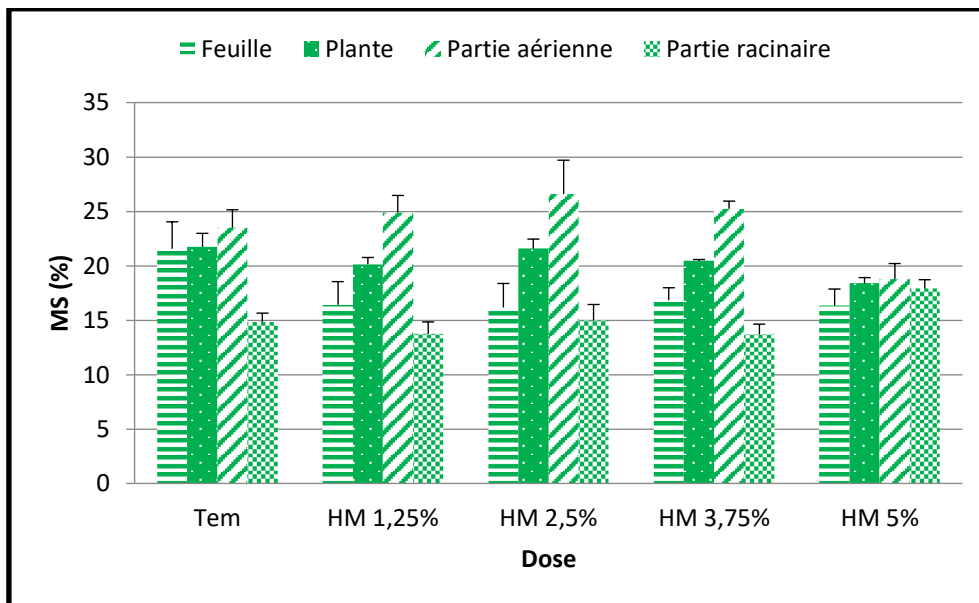
**Figure 80.** L'effet du gasoil sur la matière sèche du soja *Glycine max* (annexe 34 / tableaux 120, 121, 122, 123).

L'analyse de la variance enregistre 03 groupes homogènes dans la partie foliaire, le groupe (A) pour la dose 0.125%, le groupe (AB) pour la dose 0% et le groupe (B) pour les autres doses. La partie racinaire a aussi 03 groupes, la dose 0.125% prend le groupe (A), le témoin prend le groupe (B) et les doses 0.25%, 0.375% et 0.5% prennent le groupe (C). Dans la partie aérienne, il y a juste 02 groupes, les doses 0.125%, 0% et 0.5% sont regroupées dans le premier groupe (A), et les doses 0.375% et 0.25% sont dans le deuxième groupe (B). L'analyse de la matière sèche totale montre 03 groupes : le groupe (A) rassemble la dose 0.125% avec le témoin, le groupe (B) prend la dose 0.5%, et le groupe (C) regroupe les deux doses 0.375% et 0.25%.

### 5.12. Effet de l'huile de moteur sur la matière sèche (MS) du soja

L'analyse statistique de l'effet de l'huile de moteur sur la matière sèche du soja (**figure 81**) révèle, dans les feuilles, l'obtention de 02 groupes homogènes : (A) est mis pour le témoin avec  $21.56 \pm 2.47\%$  et (B) regroupant les différentes doses de l'huile avec des valeurs variant de  $16.17 \pm 2.20\%$  et  $16.85 \pm 1.12\%$ . Deux (02) groupes homogènes sont notés dans la partie racinaire, la dose 5% (avec une teneur de  $17.91 \pm 0.81\%$ ) prend le groupe (A), et les doses 2.5%, 0%, 1.25% et 3.75% (avec des valeurs respectives de  $14.96 \pm 1.48\%$ ,  $14.84 \pm 0.80\%$ ,  $13.73 \pm 1.10\%$  et  $13.69 \pm 0.94\%$ ) sont regroupées dans le groupe (B).

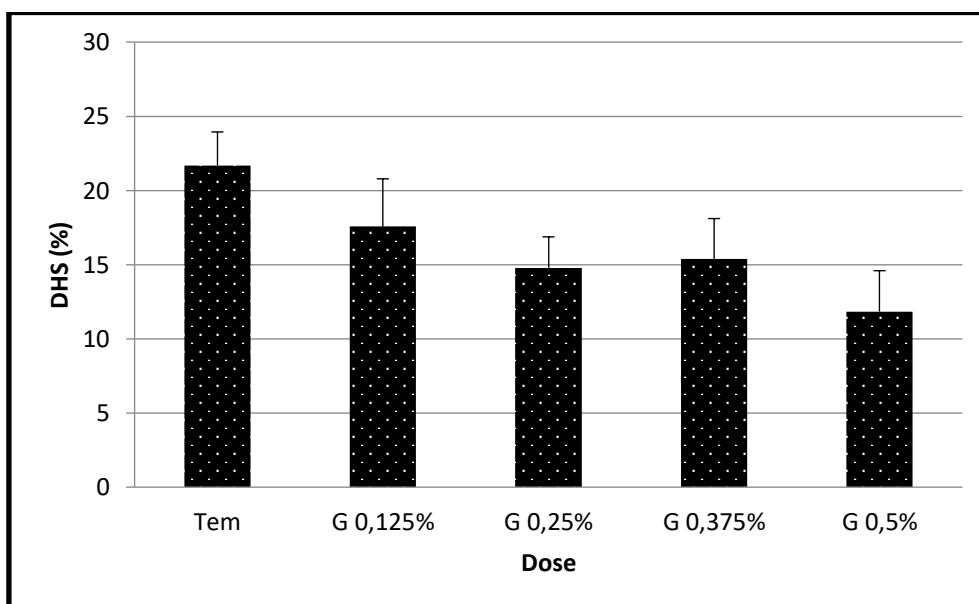
Dans les parties aérienne et totale, le témoin (avec  $23.50 \pm 1.64\%$  /  $21.73 \pm 1.25\%$ ) associe avec la dose 1.25% ( $24.90 \pm 1.56\%$  /  $20.15 \pm 0.61\%$ ), la dose 3.75% ( $25.24 \pm 0.70\%$  /  $20.44 \pm 0.13\%$ ) et la dose 2.5% (avec  $26.59 \pm 3.10\%$  /  $21.57 \pm 0.88\%$ ) dans le groupe (A). Par contre, le groupe (B) réunit juste la dose 5% avec une teneur de  $18.80 \pm 1.40\%$  dans la partie aérienne et  $18.38 \pm 0.52\%$  dans la partie totale.



**Figure 81.** L'effet de l'huile de moteur usée sur la matière sèche du soja *Glycine max* (annexe 68 / tableaux 234, 235, 236, 237).

### 5.13. Effet du gasoil sur le déficit hydrique de saturation (DHS) de l'orge

Le déficit hydrique des feuilles de l'orge est réduit sous le stress du gasoil (**figure 82**) de manière importante, allant de  $21.65 \pm 2.28\%$  (dans le témoin) à  $11.84 \pm 2.74\%$  (dans la dose 0.5%) passant par  $17.56 \pm 3.21\%$ ,  $14.78 \pm 2.08\%$  et  $15.38 \pm 0.52\%$  respectivement dans les trois autres doses 0.125%, 0.25% et 0.375%.

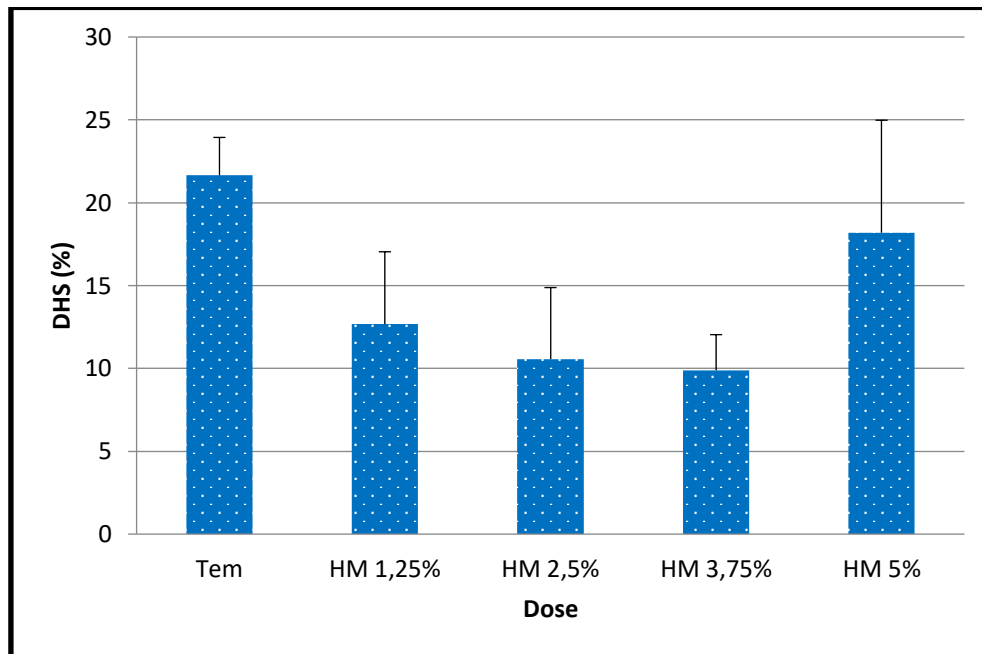


**Figure 82.** L'effet du gasoil sur le déficit hydrique de saturation de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 18 / tableau 66).

L'analyse de la variance montre l'obtention de 03 groupes homogènes en commençant par le témoin placé dans le groupe (A), passant par la dose 0.125% placée dans le groupe (AB) et terminant par les doses 0.25%, 0.375% et 0.5% rassemblées dans le groupe (B).

#### 5.14. Effet de l'huile de moteur sur le déficit hydrique de saturation (DHS) de l'orge

Pour la **figure 83**, il y a une diminution du déficit hydrique de saturation, dans les feuilles de l'orge, avec l'augmentation de la dose de l'huile de moteur où la dose 0% enregistre une valeur de  $21.65 \pm 2.28\%$ , la dose 1.25% enregistre  $12.66 \pm 4.37\%$  et les deux doses 2.5% et 3.75% marquent respectivement  $10.56 \pm 4.31\%$  et  $9.88 \pm 2.15\%$ , sauf la dernière dose 5% ayant la valeur  $18.19 \pm 6.79\%$ .



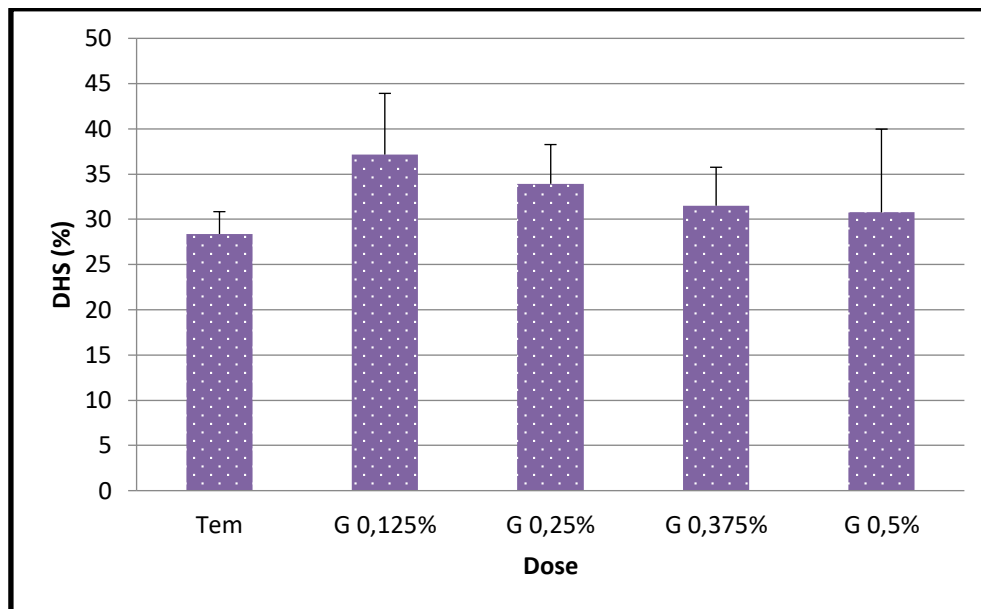
**Figure 83.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur le déficit hydrique de saturation de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 52 / tableau 180).

Trois (03) groupes homogènes apparaissent d'après l'étude statistique, le premier groupe (A) concerne le témoin, le deuxième groupe (AB) contient les doses 5% et 1.25% et le dernier groupe (B) regroupe les doses 2.5% et 3.75%.

#### 5.15. Effet du gasoil sur le déficit hydrique de saturation (DHS) du soja

Les résultats de la **figure 84**, malgré la diminution des valeurs du déficit hydrique de saturation des feuilles du soja, restent supérieurs au témoin qui prend la valeur  $28.37 \pm 2.46\%$ . Plus précisément, leurs valeurs vont de  $37.15 \pm 6.76\%$  (pour la dose 0.125%) à  $30.77 \pm 9.20\%$  (pour la dose 0.5% du gasoil).

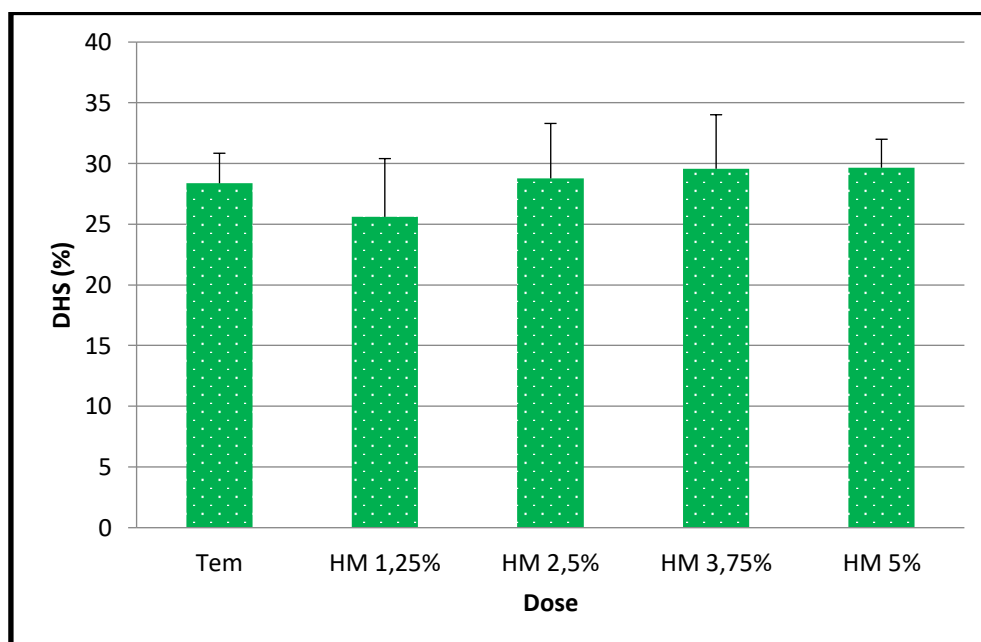
Les analyses statistiques, utilisant le test de Newman et Keuls, montre qu'il n'y a pas un effet significatif sur le déficit hydrique des feuilles du soja d'après l'utilisation des doses du gasoil.



**Figure 84.** L'effet du gasoil sur le déficit hydrique de saturation du soja *Glycine max* (annexe 35 / tableau 124).

#### 5.16. Effet de l'huile de moteur sur le déficit hydrique de saturation (DHS) du soja

Les doses de l'huile de moteur utilisée influent le déficit hydrique des feuilles du soja où on remarque une légère augmentation, sauf que dans la dose 1.25%, allant de  $28.77 \pm 4.52\%$  passant par  $29.56 \pm 4.44\%$  et arrivant à  $29.65 \pm 2.34\%$ , respectivement pour les doses 2.5%, 3.75% et 5%, en comparant avec le témoin qui enregistre une valeur de  $28.37 \pm 2.46\%$ .



**Figure 85.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur le déficit hydrique de saturation du soja *Glycine max* (annexe 69 / tableau 238).

L'analyse statistique des résultats de la **figure 85** montre qu'il n'y a pas un effet significatif sur le déficit hydrique de saturation des feuilles du soja.

### 5.17. Discussion

Nos résultats ont enregistré une augmentation significative dans la teneur relative en eau (RWC) pour les plantes de l'orge contre le gasoil et l'huile de moteur où l'augmentation a atteint +10% avec le premier facteur et +12% avec le deuxième. Par contre, ces deux polluants ont fait une réduction non significative atteinte -9% pour le gasoil et -1% pour l'huile de moteur contre les plantes de soja (sauf la dose 1.25% HM qui a une augmentation de +3%). Donc, malgré la diminution, les feuilles des plantes restent malgré tout turgescentes, puisqu'elles ont une capacité de tenir l'eau qui dépasse 60%, un seuil au-delà duquel les plantes sont considérées comme des non altérées par le stress hydrocarboné.

Le taux de déperdition (RWL) est directement relié à la surface foliaire, il est diminué par rapport au temps passé (de 30 min passant à 60 min et arrivant à 120 min) dans presque toutes les doses de gasoil et l'huile de moteur usée dans l'orge, mais quand on a comparé les doses entre eux, on n'a pas remarqué un effet évident où parfois les résultats sont augmentés et parfois sont diminués d'une dose à autre. Pour les feuilles du soja, il y a une augmentation dans la perte graduelle d'eau suite à l'évolution de la dose (soit pour le gasoil ou pour l'huile de moteur usée).

Pour la matière sèche (MS), la partie aérienne a porté la plus grande MS contre le gasoil et l'huile de moteur, chez les plantes de l'orge, contrairement aux autres parties (et spécialement la partie racinaire). Chez le soja, il y a presque une similarité entre les parties de plantes où on n'a pas remarqué un effet clair soit avec le gasoil ou avec l'huile de moteur.

Le déficit hydrique de saturation (DHS) est diminué de 21.65% (témoin) à 11.84% (la dose 0.5%) dans les plantes de l'orge contre l'augmentation des concentrations du gasoil et avec plus intensité contre l'huile de moteur usée où il est arrivé à 9.88% (la dose 5%). Dans les plantes du soja, le déficit hydrique est augmenté avec les doses du gasoil contre le témoin, cette augmentation a atteint +9% par rapport aux doses de l'huile de moteur usée qui n'a pas dépassé +1.5% par rapport aux plantes témoins.

Comme explication de l'état physiologique (ou bien hydrique), la teneur relative en eau dans les feuilles est un bon indicateur de l'état hydrique, l'analyse de cette dernière permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique de la plante et d'évaluer l'aptitude à réaliser une bonne osmorégulation et de maintenir une turgescence cellulaire (**Aboussouane et Planchan, 1985**). **Han et al., (2016)** ont dit que les chiffres de RWC sous les concentrations de pétrole de 5 et 10 g.kg<sup>-1</sup> n'ont pas eu de changements significatifs avec le témoin au cours des trois périodes d'échantillonnage, mais elles ont montré une tendance

à la baisse au cours de la période d'échantillonnage tardif. Le chiffre sous la concentration de pétrole de 15 g.kg<sup>-1</sup> n'a pas montré de changement spectaculaire pendant les périodes d'échantillonnage précoce et intermédiaire mais a diminué significativement de 9,21% ; bien que le chiffre sous la concentration de pétrole de 20 g.kg<sup>-1</sup>, ne montrant aucun changement significatif pendant la période d'échantillonnage à mi-parcours, a augmenté sensiblement de 11,20% au début de l'échantillonnage et a diminué de 17,53% à la fin.

Dans la même expérience, les légères diminutions sans signification statistique, qui ont été observées dans la capacité de rétention d'eau des sols traités avec le pétrole, peuvent être attribuées aux propriétés hydrophobes du pétrole qui ont altéré l'infiltration de l'eau et l'humidité du sol (Merkl *et al.*, 2004, 2005). Par conséquent, les résultats de la RWC ont reflété directement l'effet de la contamination du sol par le pétrole sur le statut hydrique des plantules d'*Amorpha fruticosa*.

Ramos *et al.*, (2009) ont également observé que les individus en contact avec des doses plus élevées de pétrole (50 et 75 g.kg<sup>-1</sup>) contenaient moins d'humidité dans leur composition que ceux en contact avec des concentrations plus faibles (25 g.kg<sup>-1</sup>) ou en absence du pétrole. Il convient de noter que la RWC sous les concentrations de pétrole de 15 et 20 g.kg<sup>-1</sup> pendant la période d'échantillonnage tardif, comparée en absence de pétrole, a diminué respectivement de 7,44 et 15,89% (à des valeurs de 73,41 et 66,68%), Ce qui a montré une détérioration du statut hydrique des feuilles (Han *et al.*, 2016).

Osonubi *et al.*, (1988) ont montré, quand le potentiel hydrique des feuilles diminue, la concentration en certains ions indispensables (Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>...) diminue ; alors que d'autres ions spécifiques tels que Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> s'accumulent dans le cytoplasme ou dans l'apoplasme provoquant une toxicité ionique qui interfère avec les fonctions métaboliques de la plante (Levitt, 1980). L'accumulation des ions Na<sup>+</sup> dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup>. Il y aurait une compétition entre les ions Na<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup> pour les mêmes sites de fixation apoplasmiques (Greenway et Munns, 1980).

La transpiration des feuilles entraîne une chute de pression de l'eau dans les parois pectocellulosiques de leurs cellules. Cette chute de pression attire vers le feuillage l'eau de la plante qui circule dans les vaisseaux et, de proche en proche, dans les racines se trouvant elles-mêmes en dépression par rapport à l'eau du sol (Cruiziat et Tyree, 1990). L'effet sur deux génotypes de blé (graminées) semble avoir été de nature à modifier la turgescence cellulaire ; en effet, une augmentation est remarquée chez les feuilles infectées par rapport aux témoins. Ces résultats sont confirmés pour la variété Vitron, ce maintien de turgescence

est souvent considéré comme un bon indicateur de l'état hydrique de la plante et peut être le résultat d'une accommodation transitoire par une fermeture partielle des stomates. Le statut hydrique confère ainsi à la variété Vitron une corrélation inverse entre la RWC et le RWL, en ce sens que lorsque la RWC augmente, le RWL diminue (**Saliha et Louhichi, 2012**).

La teneur relative en eau (TRE) est un paramètre qui décrit la capacité de la plante à se maintenir hydratée en conditions déficitaires, ce qui est confirmé par (**Pirzad et al., 2011**), qui montrent que le maintien de valeur assez élevée de la teneur en eau relative, en condition de stress, peut résulter de deux mécanismes d'adaptation : le maintien d'une élasticité élevée des tissus ou la diminution de la pression osmotique (**Lefi et al., 2004**). De plus, **Yamasaki et Dillenburg (1999)** et **Diazperez et al., (1995)** suggèrent que les génotypes qui arrivent à maintenir une TRE élevée malgré le stress sont des génotypes tolérants.

**Mehani et al., (2012)** ont enregistré que la turgescence varie inversement avec le taux de salinité, lorsque la salinité du milieu augmente, la teneur relative en eau diminue. Ces résultats peuvent s'expliquer par le phénomène d'ajustement osmotique, caractérisé par la diminution du potentiel hydrique, permettant ainsi de maintenir les mouvements d'eau vers les feuilles et par conséquent leur turgescence (**Ludlow et al., 1985 ; Monneveux, 1989**). En effet, lors de stress, il y'a une accumulation au niveau cellulaire d'osmoprotecteurs qui sont des composés fortement solubles et neutres, incluant des métabolites secondaires tels que la glycine bêtaïne, des polyols tels que le mannitol ou autres composés tels que les sucres (**Yeo, 1998 ; Hu, 2000 ; Mansour, 2000 ; Chen et Murata, 2002**).

Selon plusieurs auteurs, une baisse de la teneur en eau (RWC) des organes de la plante est aussi souvent notée lors d'un stress métallique (**Barcelo et Poschenrieder, 1990 ; Pandolfini et al., 1992**). Celle-ci est à la base d'une diminution de la pression de turgescence et de plasticité pariétale des cellules, responsable d'une activité mitotique faible et donc d'une réduction de la croissance (**Maroti et Bognar, 1991**). Il est démontré que l'application de Cd ou Pb entraîne une fermeture des stomates aboutissant à une diminution de l'activité transpiratoire et une restriction du flux hydrique ascendant (**Costa et al., 1994**). Cette restriction à l'intérieur des vaisseaux du xylème est due à une réduction du diamètre voire une obstruction de ces vaisseaux suite à un déséquilibre hormonal induit par ces derniers et qui serait à la base de l'inhibition de la croissance cellulaire (**Lane et al., 1978**).

Comme la demande en eau de la plante résulte en premier lieu de l'énergie solaire absorbée par les feuilles, la plante ne peut guère modifier cette demande sauf à réduire fortement sa surface d'échange. C'est ce qui se produit toutefois avec la sénescence accélérée

du feuillage ou la modification de la géométrie des feuilles (enroulement, modification de l'angle d'inclinaison moyen...). Certaines plantes ont la particularité de l'enroulement des feuilles lors d'un déficit hydrique. Cet enroulement lui permet la diminution des pertes d'eau par transpiration cuticulaire (**Zeghida et al., 2004**).

**Scofield et al., (1988)** notent que la diminution de la TRE est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes. Par contre, une TRE élevée dans des conditions de stress a été observée chez le soja (**Zeghida et al., 2004**). Un déficit en eau peut produire une carence par défaut d'apport de certains éléments et affecte toutes les fonctions de la plante. Les éléments absorbés interviennent tous dans la régulation de la pression osmotique pour maintenir une turgescence suffisante des cellules. Ils maintiennent également le pH des différents compartiments (hyaloplasme, sèves...) et entrent dans la composition des molécules organiques, principalement dans les enzymes et les pigments (**Grattan et Grieve, 1999 ; Hamza, 1980 ; Belkhodja, 1993**).

**Han et al., (2016)** ont dit que leurs résultats ont en outre confirmé que l'eau prélevée dans le sol par les racines des plantules d'*Amorpha fruticosa* était limitée pendant cette période, ce qui s'était traduit par une réduction de la transpiration. Il est bien connu qu'une diminution de la photosynthèse a souvent été observée avec une limitation d'eau légère ou modérée (**Chaves et al., 2003, 2009**). Par conséquent, la limitation de l'eau pourrait exacerber les effets néfastes de la contamination du pétrole sur la fonction de photosynthèse des semis d'*Amorpha fruticosa* et faire partie de la limitation stomatique. La diminution du potentiel hydrique du sol provoque aussi une perte importante de la turgescence au niveau de la plante. Pour maintenir la turgescence, la plante met en place un mécanisme d'ajustement osmotique liée à sa capacité à accumuler certains solutés. Une perte trop importante de la turgescence entraîne une déstructuration des membranes et systèmes enzymatiques (**Mahajan et Tuteja, 2005**) et l'accumulation de différents osmorégulateurs permet la diminution du potentiel osmotique (**Chaves et al., 2003**).

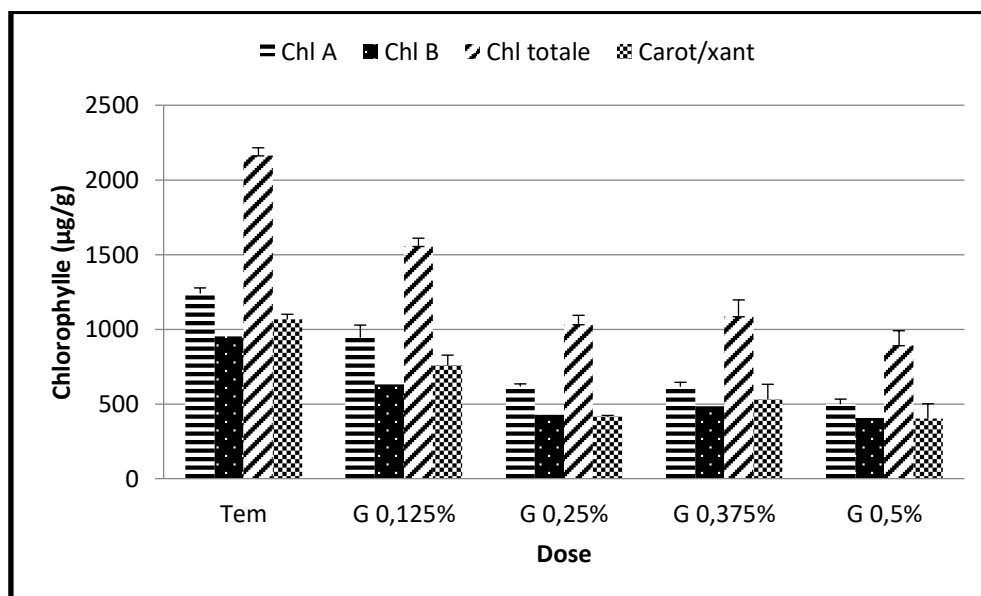
La fonction stomatique est modulée par des signaux chimiques transmis par les racines quand la teneur en eau du sol est réduite. Les molécules impliquées dans la signalisation sont principalement l'acide abscissique (ABA), les cytokinines et l'éthylène ; la production d'acide abscissique par les racines situées dans les zones sèches du sol serait le moyen par lequel la plante "sentirait" le déficit hydrique avant d'en subir des conséquences trop pénalisantes. L'acide abscissique (ABA) est une hormone synthétisée dans les racines et les feuilles, impliquée dans la croissance, mais également dans la régulation du fonctionnement

des stomates. Il se produit un efflux de  $K^+$  dans les cellules de gardes, entraînant une perte de la turgescence conduisant à la fermeture des stomates (Kim *et al.*, 2010), cette action sert également comme régulateur de pression permettant d'éviter une diminution de la conductance hydraulique conduisant au phénomène de cavitation qui peut entraîner de graves conséquences physiologiques allant jusqu'à la mort de certaines parties ou même de la plante entière (Buckley, 2005).

## 6. Paramètres biochimiques

### 6.1. Effet du gasoil sur les teneurs en pigments chlorophylliens de l'orge

Les résultats notés dans la figure 86 enregistrent une diminution de teneurs en chlorophylle selon l'augmentation des doses du gasoil. Les teneurs en chlorophylle (a) diminuent inversement l'augmentation de la dose avec une grande baisse dans la dose 0.5% ayant une valeur égale à  $498.62 \pm 33.89 \mu\text{g.g}^{-1}$  par rapport au témoin portant une valeur de  $1239.21 \pm 37.49 \mu\text{g.g}^{-1}$ . La même chose est remarquée pour la chlorophylle (b), la chlorophylle totale (a+b) et les caroténoïdes où le témoin (0%) enregistre respectivement des teneurs de  $952.47 \pm 53.44 \mu\text{g.g}^{-1}$  /  $2161.62 \pm 89.52 \mu\text{g.g}^{-1}$  /  $1065.53 \pm 34.98 \mu\text{g.g}^{-1}$  et la dernière dose (0.5%) marque  $405.14 \pm 99.00 \mu\text{g.g}^{-1}$  /  $891.21 \pm 121.36 \mu\text{g.g}^{-1}$  /  $403.70 \pm 97.12 \mu\text{g.g}^{-1}$ , sauf que les teneurs de la dose 0.375% sont peu grandes que la dose précédente (0.25%).



**Figure 86.** L'effet du gasoil sur les teneurs en pigments chlorophylliens ( $\mu\text{g.g}^{-1}$  matière fraîche) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 19 / tableaux 67, 68, 69, 70).

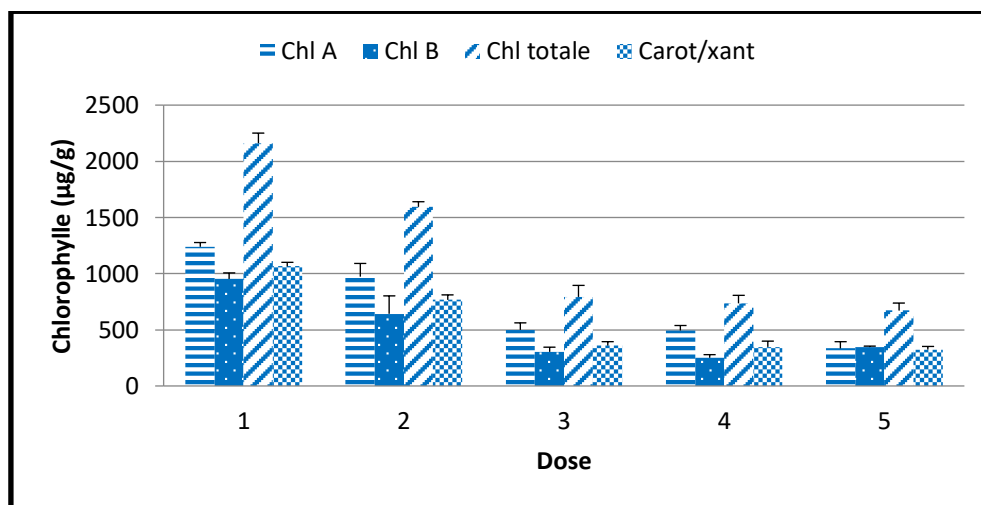
L'analyse statistique montre un effet hautement significatif du gasoil sur la chlorophylle de l'orge. La chlorophylle (a) enregistre 04 groupes homogènes, le témoin est dans le groupe (A), la dose 0.125% est dans le groupe (B), les doses 0.25% et 0.375% sont dans le groupe (C) et la dose 0.5% se situe dans le groupe (D).

La chlorophylle (b), la chlorophylle totale (a+b) et les caroténoïdes ont 03 groupes homogènes, le premier (A) porte le témoin, le deuxième (B) appartient à la dose 0.125% et le dernier (C) regroupe les doses 0.25%, 0.375% et 0.5%.

### 6.2. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en pigments chlorophylliens de l'orge

Les teneurs en chlorophylle (a), chlorophylle totale et en caroténoïdes sont diminuées inversement les doses ; avec une réduction, dans la dose 5%, atteinte respectivement 73%, 68% et 69% par rapport au témoin ( $1239.21 \pm 37.49 \mu\text{g.g}^{-1}$  /  $2161.62 \pm 89.52 \mu\text{g.g}^{-1}$  /  $1065.53 \pm 34.98 \mu\text{g.g}^{-1}$ ).

Pour la chlorophylle (b), il y a une diminution par rapport au témoin ( $952.47 \pm 53.44 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), mais les plantes de la dose 5% ont une valeur,  $346.82 \pm 8.00 \mu\text{g.g}^{-1}$ , grande que les doses 2.5% et 3.75% ayant des teneurs égales à  $303.92 \pm 41.59 \mu\text{g.g}^{-1}$  et  $251.29 \pm 27.51 \mu\text{g.g}^{-1}$  respectivement.



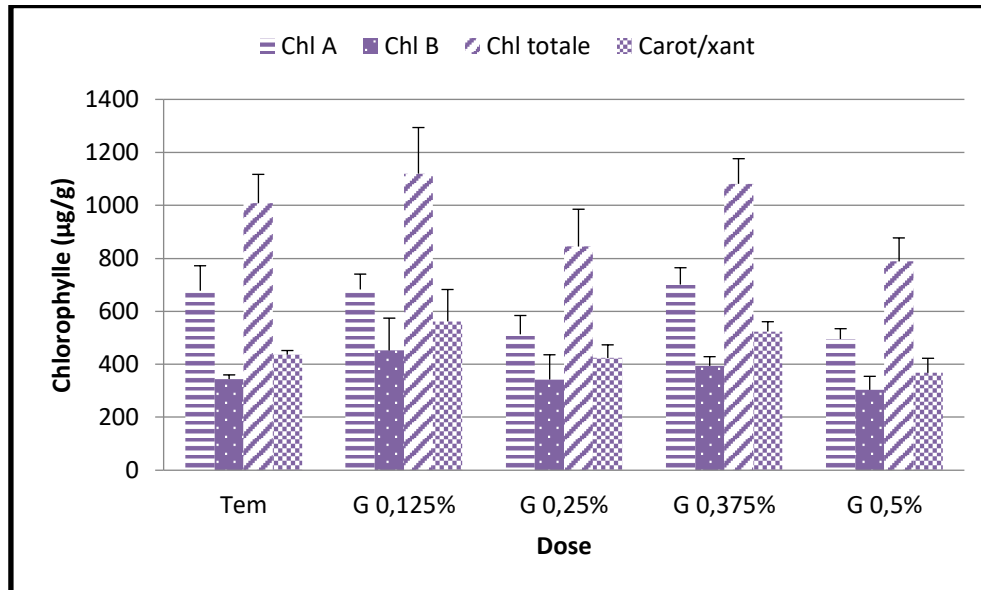
**Figure 87.** L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en pigments chlorophylliens ( $\mu\text{g.g}^{-1}$  matière fraîche) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 53 / tableaux 181, 182, 183, 184).

Dans la **figure 87**, on a remarqué une diminution hautement significative des teneurs en chlorophylle (b), (a+b), et les caroténoïdes-xanthophylles par rapport au témoin dans les plantes stressées par l'huile de moteur avec l'existence de 03 groupes homogènes, la dose 0% prend le groupe (A), la dose 1.25% prend le groupe (B), et les autres doses tombent ensemble dans le groupe (C). Dans la chlorophylle (a), il apparait 04 groupes homogènes : (A) pour le témoin, (B) pour la dose 1.25%, (C) contenant les doses 2.5% et 3.75%, et (D) caractérisant la dernière dose (5%).

### 6.3. Effet du gasoil sur les teneurs en pigments chlorophylliens du soja

L'analyse de la variance de l'effet du gasoil sur la chlorophylle du soja (**figure 88**) montre l'existence de deux (02) groupes homogènes pour la chlorophylle (a), le témoin

( $677.66 \pm 94.27 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) avec les doses 0.125% ( $682.72 \pm 57.77 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) et 0.375% ( $701.28 \pm 63.23 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) sont mis dans le premier groupe homogène (A), et les doses 0.25% ( $513.45 \pm 70.68 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) et 0.5% ( $495.48 \pm 38.80 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) sont placées dans le deuxième groupe (B). Par contre, il n'y a aucun effet significatif pour la chlorophylle (b).



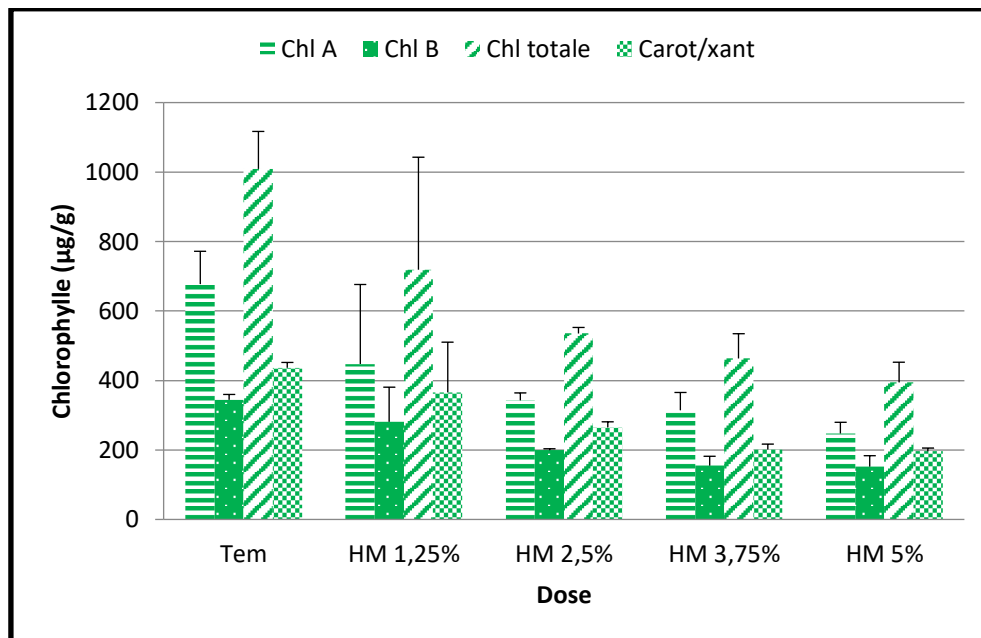
**Figure 88.** L'effet du gasoil sur les teneurs en pigments chlorophylliens ( $\mu\text{g.g}^{-1}$  matière fraîche) du soja *Glycine max* (annexe 36 / tableaux 125, 126, 127, 128).

La chlorophylle totale enregistre un effet hautement significatif avec seulement 01 groupe homogène (A) regroupant toutes les doses contenant des valeurs variées entre  $1119.89 \pm 173.89 \mu\text{g.g}^{-1}$  et  $788.59 \pm 88.36 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Tandis que les caroténoïdes marquent 03 groupes homogènes : le groupe (A) caractérise la dose 0.125% (avec  $562.12 \pm 120.24 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), le groupe (AB) rassemble les doses 0.375%, 0% et 0.25% (entre  $523.91 \pm 36.78 \mu\text{g.g}^{-1}$  et  $423.76 \pm 49.52 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) et le groupe (B) représente la dose 0.5% (avec  $367.60 \pm 55.10 \mu\text{g.g}^{-1}$ ).

#### 6.4. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en pigments chlorophylliens du soja

La figure 89 montre une diminution des teneurs de la chlorophylle des plantes du soja avec l'augmentation des doses de l'huile de moteur, ceci est illustré dans la chlorophylle (a) où la première dose (0%) porte une valeur de  $677.66 \pm 94.27 \mu\text{g.g}^{-1}$ , cette valeur est réduite jusqu'à  $247.69 \pm 31.96 \mu\text{g.g}^{-1}$  (- 63.44%) dans la dernière dose (5%).

La même chose est notée pour la chlorophylle (b), la chlorophylle totale et les caroténoïdes-xanthophylles en commençant, respectivement, par  $344.30 \pm 15.55 \mu\text{g.g}^{-1}$  /  $1009.19 \pm 107.74 \mu\text{g.g}^{-1}$  /  $436.69 \pm 15.30 \mu\text{g.g}^{-1}$  dans la dose 0% et arrivant à  $152.10 \pm 31.36 \mu\text{g.g}^{-1}$  /  $394.58 \pm 58.05 \mu\text{g.g}^{-1}$  /  $196.20 \pm 9.37 \mu\text{g.g}^{-1}$  dans la dernière dose (5%) avec des réductions atteintes à 55.82%, 60.90% et 55.07%.



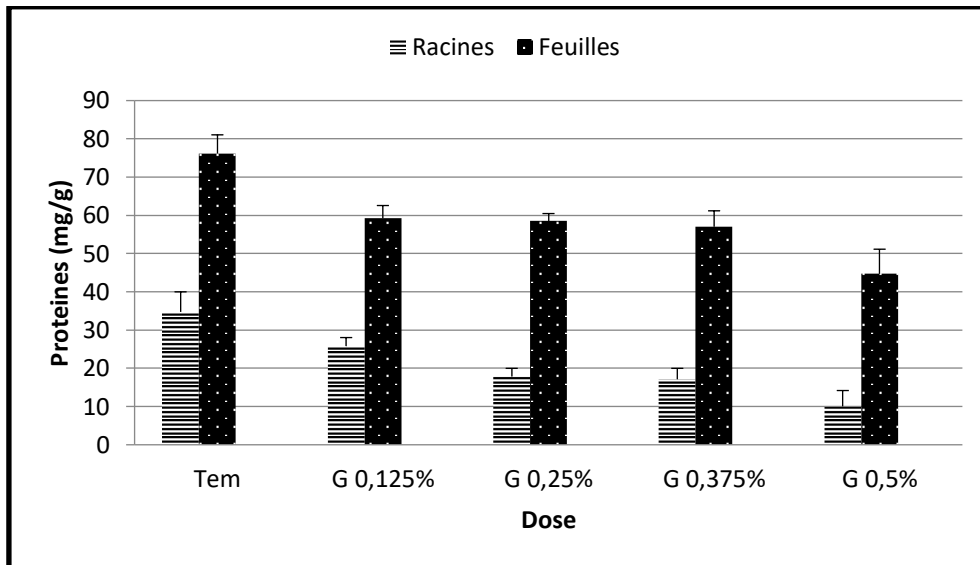
**Figure 89.** L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en pigments chlorophylliens ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  matière fraîche) du soja *Glycine max* (annexe 70 / tableaux 239, 240, 241, 242).

Les résultats de l'analyse statistique révèlent, dans la chlorophylle (a) et totale (a+b), 02 groupes homogènes, le témoin prend le groupe (A) et les autres doses prennent le groupe (B). La chlorophylle (b) et les caroténoïdes marquent 04 groupes, le premier (A) représente le témoin, le deuxième (AB) représente la dose 1.25%, le troisième (BC) caractérise la dose 2.5% et le dernier groupe (C) regroupe les deux dernières doses 3.75% et 5%.

### 6.5. Effet du gasoil sur les teneurs en protéines totales de l'orge

L'analyse des résultats relatifs à l'effet des doses du gasoil sur les teneurs en protéines dans les feuilles et les racines (**figure 90**) montre l'existence d'un effet hautement significatif. Les valeurs diminuent avec l'augmentation des doses, et les teneurs des feuilles sont largement supérieures que chez les racines. Les teneurs dans les racines diminuent chez la dose 0.5% avec 71.09% par rapport au témoin, la même chose est observée aux feuilles où on a une chute remarquable surtout chez les plantes stressées par 0.5% qui enregistrent une réduction de 41.33%.

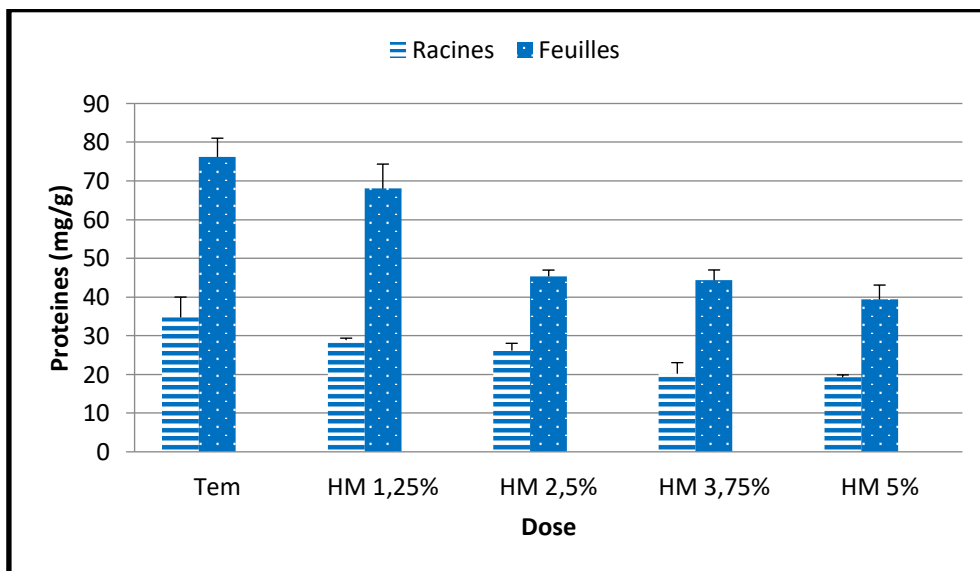
La comparaison des moyennes chez les racines a permis de distinguer 03 groupes homogènes ; le traitement 0% constitue le premier groupe, la dose 0.125% forme le deuxième groupe, et le troisième groupe est pour les doses 0.25%, 0.375% et 0.5. Pour les feuilles, on a aussi 03 groupes, le premier (A) est pour le témoin, le deuxième (B) est pour les traitements 0.125%, 0.25% et 0.375% ; par ailleurs, la dose 0.5% constitue le troisième groupe (C).



**Figure 90.** L'effet du gasoil sur les teneurs en protéines totales ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  matière fraîche) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 20 / tableaux 71, 72).

### 6.6. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en protéines totales de l'orge

Comme indiqué dans la **figure 91**, L'augmentation des doses de l'huile de moteur exerce une influence négative sur les teneurs en protéines dans les feuilles et les racines de l'orge *Hordeum vulgare*, avec des valeurs supérieures pour les feuilles (de  $76.18 \pm 4.85$  à  $39.39 \pm 3.70 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) que pour les racines (de  $34.74 \pm 5.24$  à  $19.25 \pm 0.61 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ), et un rapport entre les deux peut atteindre 41%.



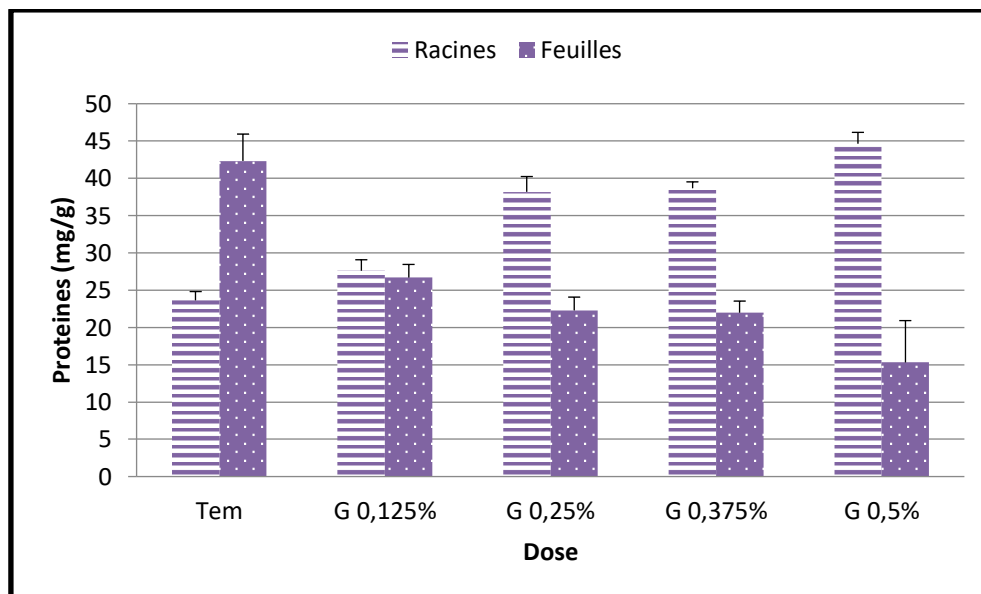
**Figure 91.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur les teneurs en protéines totales ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  matière fraîche) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 54 / tableaux 185, 186).

L'analyse statistique montre un effet significatif élevé avec 03 groupes homogènes pour les racines, le groupe (A) est observé pour le témoin, le groupe (B) est pour les doses 1.25% et 2.5%, et le groupe (C) concerne les doses 3.75% et 5%. La même chose est notée

pour les feuilles qui sont enregistrées aussi 03 groupes, la dose 0% est dans le premier, la dose 1.25% est dans le deuxième, et le troisième regroupe les doses 2.5%, 3.75% et 5%.

### 6.7. Effet du gasoil sur les teneurs en protéines totales du soja

La figure 92 donne les teneurs en protéines totales chez l'ensemble des doses du gasoil posées. Les résultats obtenus montrent une diminution hautement significative chez les feuilles du soja avec une valeur maximale enregistrée chez le témoin ( $42.32 \pm 3.60 \text{ mg.g}^{-1}$ ) et une valeur minimale enregistrée chez la dose 0.5% ( $15.30 \pm 5.60 \text{ mg.g}^{-1}$ ). Par contre, et chez les racines, les teneurs augmentent d'une façon hautement significative en commençant par le témoin ( $23.63 \pm 1.17 \text{ mg.g}^{-1}$ ) et en finissant par la dose 0.5% (avec  $44.63 \pm 1.52 \text{ mg.g}^{-1}$ ) comme la valeur la plus élevée.



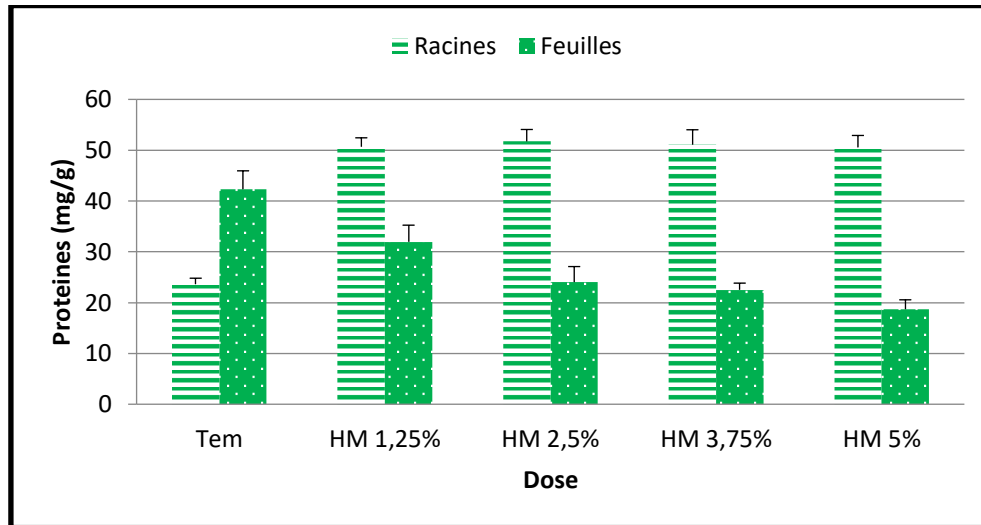
**Figure 92.** L'effet du gasoil sur les teneurs en protéines totales ( $\text{mg.g}^{-1}$  matière fraîche) du soja *Glycine max* (annexe 37 / tableaux 129, 130).

L'analyse statistique révèle l'existence de 04 groupes homogènes chez les racines, le groupe (A) pour la dose 0.5%, le groupe (B) rassemble les doses 0.375% et 0.25%, le groupe (C) représente la dose 0.125% et le groupe (D) caractérise la dose 0%. Pour les feuilles, il existe aussi 04 groupes mais le témoin prend le groupe (A), la dose 0.125% prend le groupe (B), les doses 0.25% et 0.375% sont rassemblées dans le groupe (BC) et la dose 0.5% est mise dans le dernier groupe (C).

### 6.8. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en protéines totales du soja

Selon les résultats obtenus (figure 93), l'évolution des teneurs en protéines totales, extraites des feuilles, est inversement proportionnelle selon l'augmentation des doses de l'huile de moteur où on remarque une réduction allant de 24.48% (chez la dose 1.25%) et

arrivant à 55.81% (chez la dose 5%) par rapport au témoin qui enregistre une valeur de  $42.32 \pm 3.60 \text{ mg.g}^{-1}$ . Pour les racines, il y a une grande augmentation par rapport à la dose 0% portant une teneur de  $23.63 \pm 1.17 \text{ mg.g}^{-1}$ , cette augmentation est atteinte à 118.89% dans la dose 2.5%.



**Figure 93.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur les teneurs en protéines totales ( $\text{mg.g}^{-1}$  matière fraîche) du soja *Glycine max* (annexe 71 / tableaux 243, 244).

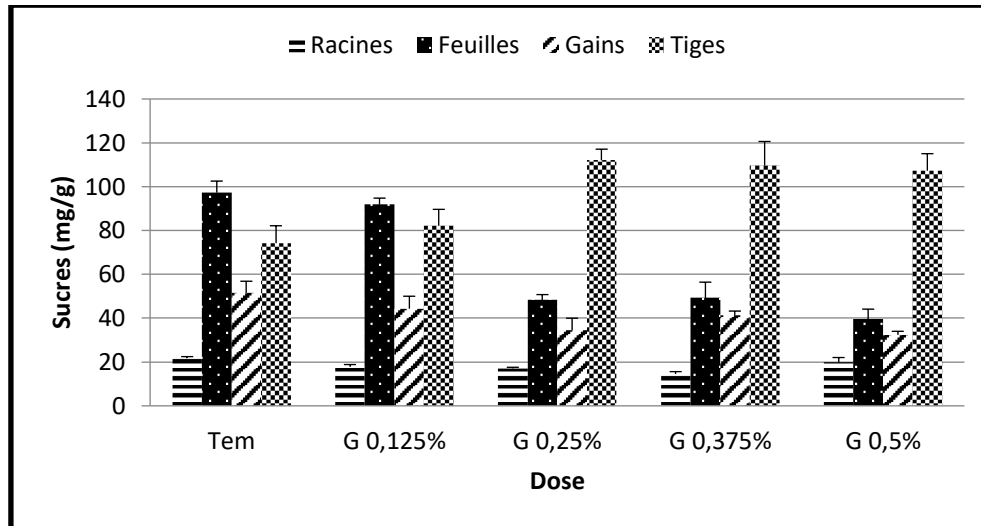
L'analyse de la variance marque 02 groupes homogènes : (B) pour le témoin et (A) regroupant les autres doses. Ça pour les racines ; mais pour les feuilles, il existe 03 groupes, le premier concerne la dose 0%, le deuxième concerne la dose 1.25% et le dernier rassemble les doses 2.5%, 3.75% et 5%.

### 6.9. Effet du gasoil sur les teneurs en sucres solubles totaux de l'orge

Les valeurs du dosage des sucres solubles totaux pour les plantes de l'orge en fonction des doses du gasoil sont notées dans la figure 94. Les plantes de l'orge présentent une diminution de leurs teneurs en sucres dans les racines, les feuilles et les gains par rapport aux témoins ( $21.76 \pm 0.69 \text{ mg.g}^{-1}$  /  $97.25 \pm 5.29 \text{ mg.g}^{-1}$  /  $51.49 \pm 5.35 \text{ mg.g}^{-1}$  respectivement). Cette réduction peut atteindre à 33.22%, 37.11% et 59.32% respectivement dans les racines, les gains et les feuilles avec une supériorité dans les feuilles que dans les précédents. Pour les tiges, il y a une accumulation importante dans les teneurs en sucres allant de 10.78% à 50.88% par rapport à la dose 0% enregistrant une valeur de  $74.27 \pm 7.88 \text{ mg.g}^{-1}$ .

L'analyse statistique révèle, pour les racines, l'obtention de 05 groupes homogènes ; le groupe (A) pour le témoin, le groupe (AB) pour la dose 0.5%, le groupe (BC) pour la dose 0.125%, et les groupes (C) et (D) pour les doses 0.25% et 0.375% respectivement. Pour les feuilles, il y a l'existence de 02 groupes homogènes ; la dose 0.125% est dans le même groupe (A) avec le témoin ; par ailleurs, le groupe (B) regroupe les doses 0.25%, 0.375% et

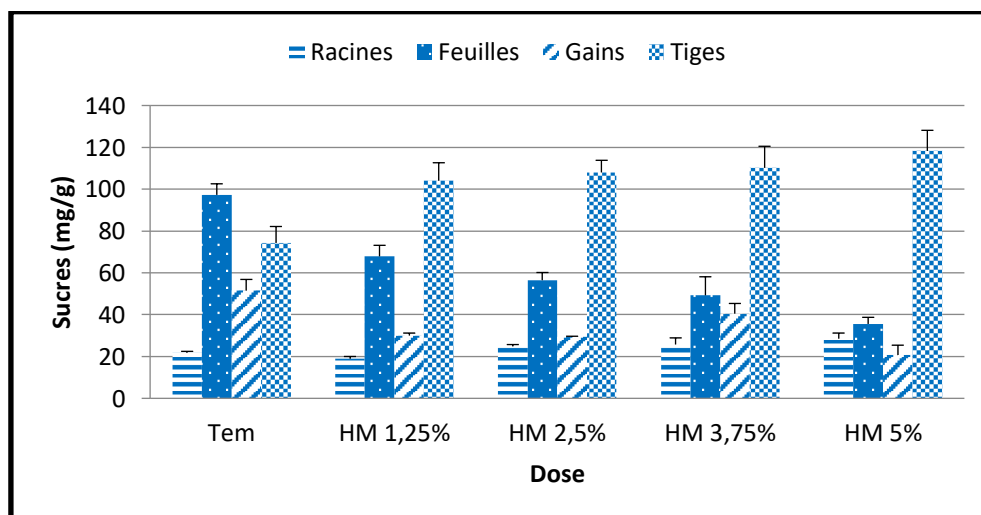
0.5% respectivement. Dans les gains et les tiges, on note 04 groupes [(A), (AB), (BC) et (C)] pour les premiers, et 02 [(A) et (B)] pour les deuxièmes.



**Figure 94.** L'effet du gasoil sur les teneurs en sucres solubles totaux ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  matière sèche) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 21 / tableaux 73, 74, 75, 76).

#### 6.10. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en sucres solubles totaux de l'orge

Concernant la figure 95, les teneurs en sucres solubles dans les racines et les tiges augmentent avec l'augmentation des doses de l'huile de moteur, sauf la dose 1.25% (dans les racines) où il y a une diminution par rapport au témoin. Elles montent de  $21.76 \pm 0.69 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  (témoin) à  $28.52 \pm 2.70 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  (la dose 5%) dans les racines et de  $74.27 \pm 7.81 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  (la dose 0%) à  $118.28 \pm 9.85 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  (la dose 5%) dans les tiges. Par contre, et dans les feuilles et les gains, les mêmes doses exercent une réduction des teneurs en sucres solubles arrivant à 63.43% et 59.75% respectivement par rapport aux témoins qui notent des valeurs de  $97.25 \pm 5.29 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  et  $51.49 \pm 5.35 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ .

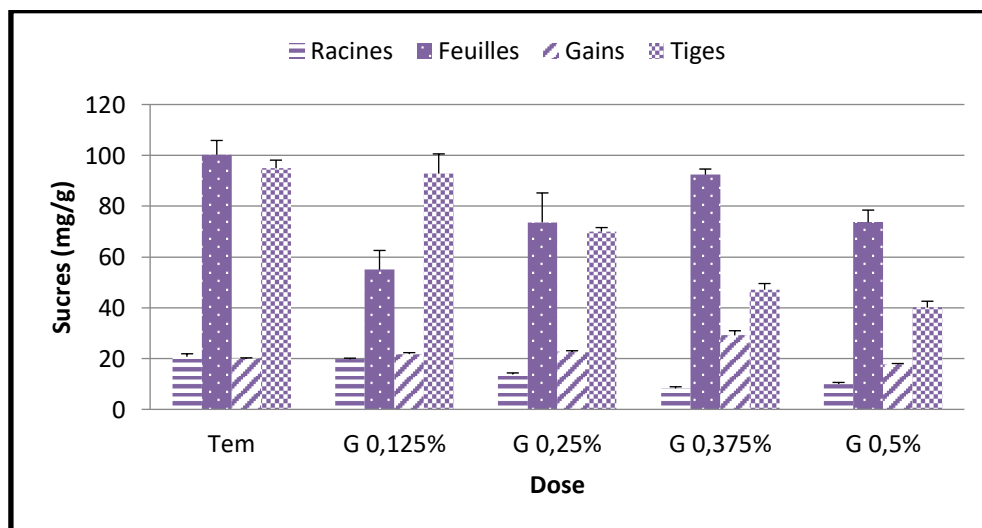


**Figure 95.** L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en sucres solubles totaux ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  matière sèche) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 55 / tableaux 187, 188, 189, 190).

L'analyse de la variance montre que la présence de l'huile de moteur induit un effet hautement significatif sur les feuilles et les gains en formant 04 groupes homogènes : (A), (B), (C), (C) et (D) pour les doses 0%, 1.25%, 2.5%, 3.75% et 5% respectivement dans les feuilles et les mêmes groupes pour les doses 0%, 3.75%, 1.25%, 2.5% et 5% dans les gains. Pour les racines, il y a aussi 04 groupes homogènes, les groupes (A) et (BC) représentent les doses 5% et 0% respectivement. Par contre, les tiges caractérisent juste 02 groupes, le deuxième prend le témoin et le premier regroupe les autres différentes doses.

### 6.11. Effet du gasoil sur les teneurs en sucres solubles totaux du soja

Les mesures de la teneur en sucres totaux chez le soja (**figure 96**) ont montré que ce paramètre diminue suite à l'application des doses du gasoil chez les racines, les feuilles et les tiges, ce qui révèle 04 groupes homogènes dans les premières (les racines) où le témoin ( $20.71 \pm 1.15 \text{ mg.g}^{-1}$ ) est mis dans le groupe (A) avec la dose 0.125% et les concentrations 0.25%, 0.5% et 0.375% sont mises dans les groupes (B), (C) et (D) avec une réduction atteinte à 60.06%. Dans les feuilles, on note le témoin ( $100.23 \pm 5.61 \text{ mg.g}^{-1}$ ) avec la dose 0.375% dans le premier groupe statistique, les doses 0.5% et 0.25% dans le deuxième et la dose 0.125% dans le troisième. Alors que pour les tiges, les traitements 0% ( $94.87 \pm 3.23 \text{ mg.g}^{-1}$ ) et 0.125% prennent le groupe (A), le traitement 0.25% prend le groupe (B) et les deux derniers traitements 0.375% et 0.5% se positionnent dans le groupe (C) avec une diminution arrivant à 57.72%.



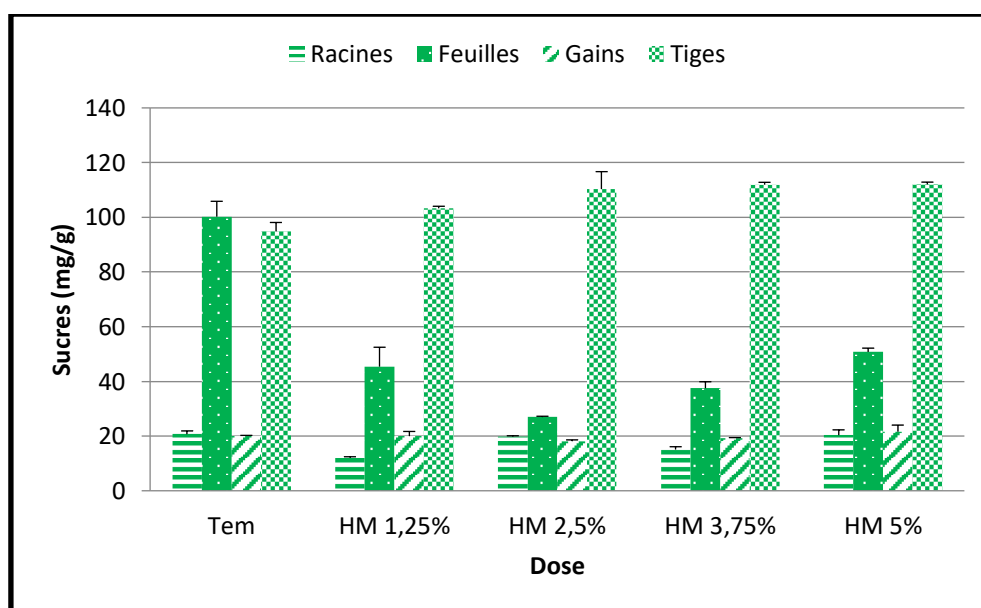
**Figure 96.** L'effet du gasoil sur les teneurs en sucres solubles totaux ( $\text{mg.g}^{-1}$  matière sèche) du soja *Glycine max* (annexe 38 / tableaux 131, 132, 133, 134).

Par contre, les gains enregistrent une augmentation progressive suite à l'augmentation des doses posées où la dose 0% marque une teneur de  $20.03 \pm 0.22 \text{ mg.g}^{-1}$  (le groupe (C)), les doses 0.125% (+ 08.73%) et 0.25% (+ 12.98%) se placent dans le groupe (B), la dose 0.375%

est mise dans le groupe statistique (A) avec une augmentation de 45.53% en comparaison à la teneur du témoin qui est supérieure à la teneur de la dose 0.5% ( $17.71 \pm 0.33 \text{ mg.g}^{-1}$ ).

### 6.12. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en sucres solubles totaux du soja

Pour ce qui est de l'effet des doses de l'huile de moteur sur la teneur en sucres solubles totaux au sein de cet essai (**figure 97**), l'analyse de la variance permet de déceler un effet hautement significatif, malgré la perturbation des résultats, dans les feuilles et les racines car les teneurs des différents traitements sont au-dessous du témoin portant respectivement des valeurs de  $100.23 \pm 5.61 \text{ mg.g}^{-1}$  et  $20.71 \pm 1.15 \text{ mg.g}^{-1}$  en se positionnant dans le groupe homogène (A). Pour les gains, on remarque que les teneurs sont plus proches entre eux d'un côté et avec le témoin d'un autre côté, ce que signifie la non significativité des résultats d'après l'étude statistique utilisant le test de Newman et Keuls.



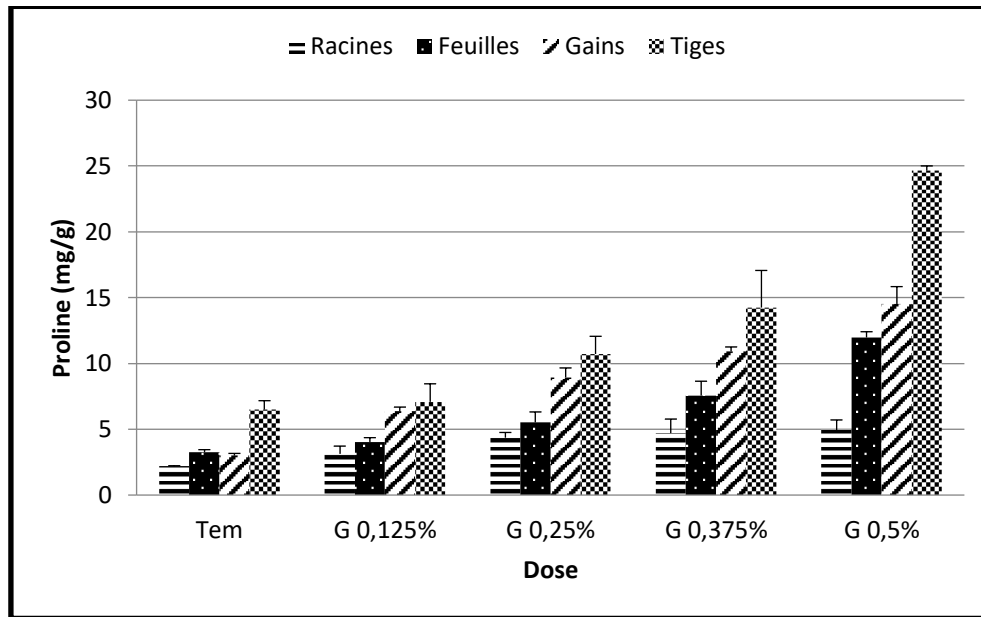
**Figure 97.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur les teneurs en sucres solubles totaux ( $\text{mg.g}^{-1}$  matière sèche) du soja *Glycine max* (annexe 72 / tableaux 245, 246, 247, 248).

Les tiges enregistrent une augmentation proportionnelle des teneurs des sucres totaux suivant l'augmentation des doses de l'huile ; donc, l'obtention de 03 groupes homogènes, le dernier (C) est spécifique pour la dose 0% ( $94.87 \pm 3.23 \text{ mg.g}^{-1}$ ), le deuxième groupe (B) représente la dose 1.25% et le premier (A) regroupe les trois dernières doses enregistrant une augmentation atteinte à 18.11% par rapport au témoin.

### 6.13. Effet du gasoil sur les teneurs en proline de l'orge

Les résultats de la **figure 98** montrent que la teneur en proline dans les racines passe de  $2.18 \pm 0.03 \text{ mg.g}^{-1}$  (le témoin) à  $3.12 \pm 0.59 \text{ mg.g}^{-1}$  (la dose 0.125%) arrivant à la plus grande valeur chez la dose 0.5% avec  $4.94 \pm 0.75 \text{ mg.g}^{-1}$ . Les mêmes traitements entraînent une

augmentation (dans les feuilles) allant de 23.24% à 266.05% par rapport à la dose 0% qui enregistre une teneur de  $3.27 \pm 0.17 \text{ mg.g}^{-1}$ . Pour les gains et les tiges, l'accumulation est plus forte et peut atteindre respectivement 383.66% et 279.81% dans la dose 0.5% du gasoil.



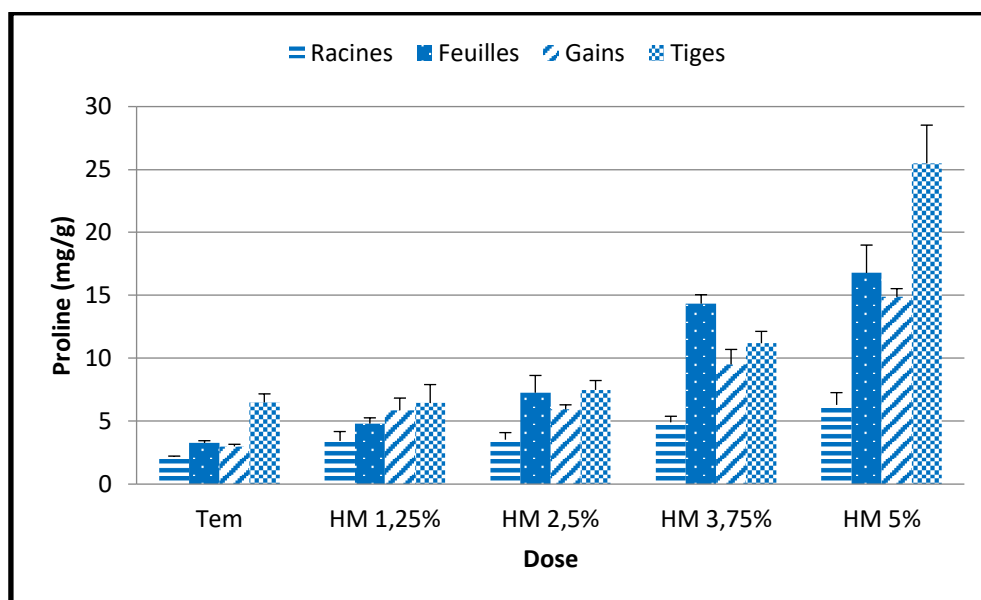
**Figure 98.** L'effet du gasoil sur les teneurs en proline ( $\text{mg.g}^{-1}$  matière sèche) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 22 / tableaux 77, 78, 79, 80).

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif avec 02 groupes homogènes chez les racines et 05 chez les gains. Pour les feuilles et les tiges, on marque 04 groupes homogènes : (A), (B) et (C) enregistrés respectivement pour les doses 0.5%, 0.375% et 0.25% ; et le groupe (D) qui représente la dose 0.125% avec le témoin.

#### 6.14. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en proline de l'orge

La figure 99 représente les variations de la teneur en proline des différentes parties de l'orge en fonction de l'intensité de l'huile de moteur utilisée. Dans les conditions normales (absence du stress), on enregistre des valeurs de  $2.18 \pm 0.03 \text{ mg.g}^{-1}$ ,  $3.27 \pm 0.17 \text{ mg.g}^{-1}$ ,  $3.00 \pm 0.16 \text{ mg.g}^{-1}$  et  $6.49 \pm 0.67 \text{ mg.g}^{-1}$  respectivement dans les racines, les feuilles, les gains et les tiges, mais avec l'augmentation des doses, ces valeurs vont augmenter pour atteindre, dans la dose 5%,  $6.29 \pm 0.97 \text{ mg.g}^{-1}$ ,  $16.78 \pm 2.21 \text{ mg.g}^{-1}$ ,  $14.87 \pm 0.65 \text{ mg.g}^{-1}$  et  $25.48 \pm 0.75 \text{ mg.g}^{-1}$  d'une façon respective dans les parties précédentes de l'orge.

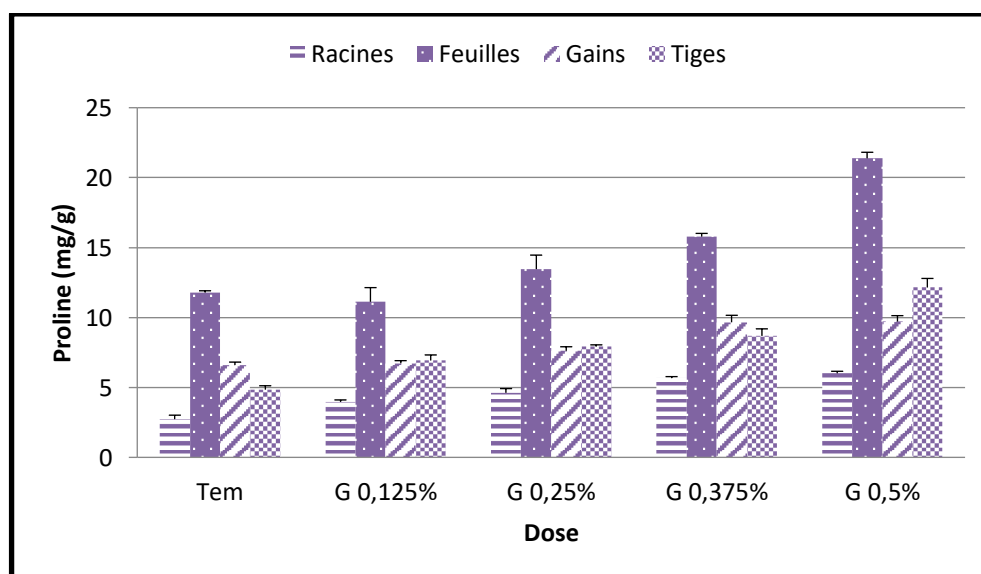
D'après l'analyse statistique, on enregistre 03 groupes homogènes dans les racines et les tiges, le premier concerne la dose 5%, le deuxième concerne la dose 3.75% et le troisième regroupe les autres doses. Pour les feuilles et les gains, on a 04 groupes similaires sauf que la dose 1.25% est dans le groupe (D) dans les feuilles et le groupe (C) dans les gains.



**Figure 99.** L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en proline ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  matière sèche) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 56 / tableaux 191, 192, 193, 194).

### 6.15. Effet du gasoil sur les teneurs en proline du soja

Les résultats notés des teneurs en proline (**figure 100**) marquent une accumulation progressive dans les parties du soja avec une augmentation de 45.05% à 120% dans les racines par rapport au témoin ( $2.73\pm 0.27 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) attendu dans le groupe homogène (D). Dans les feuilles, l'augmentation donne 04 groupes commençant par la dose 0.5% (+ 81.49%) suivie par la dose 0.375% (+ 33.95%) et la dose 0.25% (+ 14.26%) contrairement à la dose 0.125% qui n'est pas significatif avec le témoin ( $11.78\pm 0.12 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ).



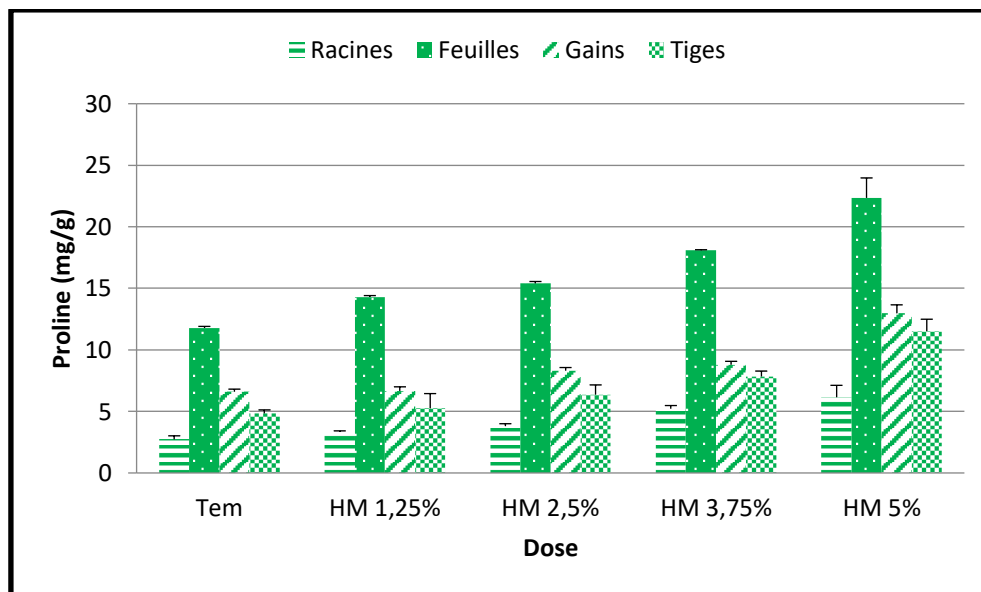
**Figure 100.** L'effet du gasoil sur les teneurs en proline ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  matière sèche) du soja *Glycine max* (annexe 39 / tableaux 135, 136, 137, 138).

On remarque que les valeurs de la proline atteignent  $9.71\pm 0.43 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  et  $9.66\pm 0.22 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  dans les doses 0.5% et 0.375% attendues dans le groupe (A),  $7.61\pm 1.00 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  dans

la dose 0.25% positionnée dans le groupe (B) et  $6.72 \pm 0.19 \text{ mg.g}^{-1}$  dans la dose 0.125% donnant une non significativité avec le témoin en regroupant dans le groupe (C) (ça pour les gains) ; pour les tiges, l'accumulation sous l'effet du gasoil arrive à leur haut niveau dans la dose 0.5% avec 150.82% par rapport à la dose 0%.

### 6.16. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en proline du soja

Les résultats notés dans **la figure 101** montrent que l'huile de moteur utilisée exerce une accumulation de la proline dans les racines, les feuilles, les gains et les tiges du soja atteinte respectivement à  $6.15 \pm 0.96 \text{ mg.g}^{-1}$ ,  $22.34 \pm 1.62 \text{ mg.g}^{-1}$ ,  $12.97 \pm 0.68 \text{ mg.g}^{-1}$  et  $11.52 \pm 0.96 \text{ mg.g}^{-1}$ , donc une augmentation de 125.27%, 90.02%, 96.81% et 138% par rapport aux différents témoins.



**Figure 101.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur les teneurs en proline ( $\text{mg.g}^{-1}$  matière sèche) du soja *Glycine max* (annexe 73 / tableaux 249, 250, 251, 252).

L'étude statistique montre l'existence d'un effet hautement significatif dans les différentes parties du soja, sauf que la dose 1.25% dans les gains et les deux doses (2.5% et 1.25%) dans les tiges qui ne sont pas significatives par rapport aux témoins étudiés.

### 6.17. Discussion

Les résultats de notre expérience montrent une diminution significative face à l'orge, des pigments chlorophylliens, qui a atteint 59%, 57%, 58% et 62% respectivement pour les chlorophylles (a), (b), (a+b) et les caroténoïdes contre la grande dose (0.5%) du gasoil. La même diminution est effectuée contre l'huile de moteur où la grande dose (5%) a enregistré 73%, 68% et 69% pour la chlorophylle (a), la chlorophylle totale (a+b) et les caroténoïdes ; par contre pour la chlorophylle (b), la plus grande diminution est marquée par la dose 3.75%

avec 73%. Pour les plantes du soja, les doses 0.125% et 0.375% du gasoil ont exercé une légère augmentation, dans tous les types de chlorophylle, par rapport aux témoins contrairement des autres doses. Alors que toutes les doses de l'huile de moteur ont fait une réduction de chlorophylle atteinte de 55% à 63% dans la dose 5% dans les différents types testés.

Ces résultats sont en relation avec ceux de (**Achuba, 2006 ; Chaineau et al., 1997 ; Li et al., 2008**) qui ont noté des diminutions de la teneur en chlorophylle des plantes dues à des sols contaminés par le pétrole. Ces réductions ont déjà été signalées et attribuées aux effets toxiques directs exercés par le pétrole sur les plantes ainsi qu'aux carences en éléments nutritifs (principalement de l'azote disponible) résultaient d'altérations des propriétés chimiques du sol (**Balasubramaniyam et Harvey, 2014 ; Bento et al., 2012 ; Chaineau et al., 1997**). Les concentrations toxiques font le résultat d'une inhibition des photosystèmes I et II et donc une baisse dans la photosynthèse. Pendant que les teneurs en eau des feuilles diminuent, une diminution d'efficacité photochimique de PSII et du transport d'électron se produit (**Giardi et al., 1996**). Ceci peut être dû aux dommages des centres de réaction de PSII, mais peut également être provoqué par la diminution de la capacité de transport d'électron de PSII (**Osmond, 1994**). La majeure partie de la variation de l'utilisation d'énergie pour la photochimie pendant un stress hydrique peut être expliquée en termes de variation de l'efficacité de la capture d'électron par les centres ouverts de PSII (**Cornic et Fresneau, 2002**).

**Yakhlef et Djekoun (2000)** suggèrent que la survie des plantes est en partie due à l'entretien de la capacité photosynthétique des feuilles permettant le rétablissement rapide des plantes. Pour limiter les pertes en eau par évaporation et, aussi, l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO<sub>2</sub> atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une dilution de la chlorophylle (**Slyter, 1974**). Selon **Bounaqba (1998)**, les mesures de la fluorescence chlorophyllienne permettent d'apprécier l'intégrité fonctionnelle du PSII. Sous l'effet du stress, l'état fonctionnel des membranes des thylakoïdes se dégrade, l'altération des processus photosynthétiques se reflète dans les courbes d'induction de la fluorescence de la chlorophylle. L'accroissement des valeurs des plantes soumises au stress se traduit par une réduction de la faculté de captage des électrons et de transfert d'énergie aux centres réactionnels et un début de dénaturation des accepteurs primaires de la photosynthèse.

L'intensité de la fluorescence est inversement liée au rendement photochimique. En effet, lorsque l'émission d'électrons est perturbée, la chaîne de transport est détériorée par l'agent stressant, donc la dissipation d'énergie (chaleur et fluorescence) augmente. Cette relation peut être considérée comme un indicateur intrinsèque précis de la réaction claire de la photosynthèse au niveau du PSII. L'accroissement des valeurs est la conséquence d'un faible transfert d'électrons photosynthétiques au complexe protéique QAQB (plastiquinone) dans les chloroplastes et la proportion d'énergie d'excitation, réémise comme fluorescence, devient de plus en plus importante avec l'augmentation de l'intensité et de la durée du stress (**Bounaqba, 1998**).

Il est clairement exposé dans la littérature que la photosynthèse et les échanges gazeux des feuilles sont affectés par plusieurs stress dont, les hydrocarbures, la salinité, le stress hydrique, le stress métallique, la compaction du sol, la nutrition inadéquate...etc (**Tripathi et Tripathi, 1999**).

**Han et al., (2016)** ont enregistré une diminution de la teneur en chlorophylle dans les plants d'*Amorpha fruticosa* au cours des trois périodes d'échantillonnage avec 26% par une concentration de 5 g.kg<sup>-1</sup>. Les concentrations de pétrole de 10, 15 et 20 g.kg<sup>-1</sup> ont été connu une chute entre 25% à 36%. Ils ont constaté que les changements dans la teneur en chlorophylle de la feuille des jeunes plants d'*Amorpha fruticosa* sont affectés à la fois par l'intensité du stress dû à la contamination par le pétrole et par la modification du temps de stress. Les accumulations continues des hydrocarbures toxiques et de métaux ont exercé un manque d'azote disponible pour les plantes dans le sol, ces phénomènes peuvent expliquer pourquoi la teneur en chlorophylle des feuilles des plantules est diminuée constamment par rapport aux plantules cultivées dans un sol non contaminé. En outre, l'intensité de la contamination accrue a aggravé et accéléré ce processus, en particulier à la concentration de pétrole la plus élevée (20 g.kg<sup>-1</sup>). Les accumulations excessives de matière toxique et la carence en nutriments ont également eu un impact plus important sur la Chlorophylle (a) que sur la Chlorophylle (b), entraînant une diminution du rapport Chl a / Chl b.

Les métaux lourds peuvent interférer avec les processus photosynthétiques d'une manière direct via une inhibition des enzymes de synthèse de la chlorophylle (**Padmaja et al., 1990 ; Chugh et Sawhney, 1999**). La diminution de l'activité photosynthétique, lors d'un stress, est en relation avec la fermeture des stomates (**Tabaeizadeh, 1998**). Selon les travaux de **Reichman (2002)**, les teneurs en chlorophylle (a), (b) et totale ont été réduites sous une concentration élevée en Cu.

Les travaux de **Heckman et al., (1987)** montrent que l'absorption excessive des métaux lourds par le soja, suite à un amendement par les boues résiduaires, inhibe la photosynthèse et la fixation du N<sub>2</sub>. Une diminution de la photosynthèse apparente, induite par la présence de Cd dans le milieu de culture, est observée chez les végétaux supérieurs (**Gallego et al., 1996 ; Moustakas et al., 1997 ; Chugh et Sawhney, 1999 ; Singh et al., 2006 ; Sbartai, 2008**). Un effet secondaire de l'inhibition de la photosynthèse par le Cu est une augmentation dans la production de radicaux libres ; et par conséquent, une augmentation dans le taux de sénescence des feuilles suite à un stress oxydative (**Luna et al., 1994**).

**Levingneron et al., (1995)** rapportent que l'effet néfaste de la salinité sur les teneurs en pigments chlorophylliens est partiellement à l'origine de la diminution de synthèse des hydrates de carbone. Elle provoque une dégradation de la chlorophylle et une accumulation de la fraction soluble des composés azotés (**Viégas et Silveira, 1999**). La réduction de la chlorophylle sous stress peut être attribuée à une augmentation de l'activité de l'enzyme chlorophyllase ou l'interruption de la structure fine de la chloroplaste et l'instabilité du pigment (**Djanaguiraman et al., 2006**). La diminution de la croissance pourrait être le résultat de la diminution de l'absorption du carbone (diminution de la photosynthèse et la surface foliaire). Ainsi, la diminution de la photosynthèse est au changement de la distribution du carbone pour les processus de la croissance (synthèse de la paroi et composés cellulaires) (**Epron et al., 1999**).

Des résultats, apportés par **Seeman et Critchley (1985)**, ont souligné une diminution de la concentration des chlorophylles foliaires et une baisse de l'activité de la ribulose 1,5 bisphosphate carboxylase/oxygénase (rubisco) chez le haricot irrigué par une solution enrichie en NaCl. Une production élevée de peroxyde d'hydrogène dans les feuilles est synonyme de dommage photo-oxydatif qui est moindre chez les plants transgéniques (**Mitsuya et al., 2006**). Le stress détruit la structure fine des chloroplastes et provoque l'instabilité des complexes protéines-pigments chlorophylliens (**Lapina et Popov, 1984 ; Reddy et Vora, 1986**).

**Redondo-Gomez et al., (2014)** ont constaté une réduction de la teneur en chlorophylle de *Spartina argentinensis* liée aux concentrations de 2 et 3% du diesel dans le sol, y compris une réduction du contenu en Chlorophylle (b), ce qui a été suggéré comme un effet toxique du gasoil. Une autre étude a montré que la diminution des concentrations totales de chlorophylle, Chl a, Chl b et de ratios Chl a / Chl b chez quatre espèces de plantes à feuilles

persistantes autour de la raffinerie peut être due à des concentrations plus élevées de SO<sub>2</sub> et à une accumulation de métaux dans les feuilles (**Deniz et Duzenli, 2007**). De plus, **Wang et al., (2005)** ont observé un effet négatif équivalent sur le contenu en Chl a et b des feuilles de riz où la teneur en Chl diminuait de manière significative avec un stress accru de naphthalène (un composant du pétrole brut). La diminution de la teneur en chlorophylle pourrait entraîner une dégradation du fonctionnement de la photosynthèse et devenir un élément important de la limitation non stomatique (**Redondo-Gomez et al., 2014**).

Selon **Ernez et Lannoye (1991)**, l'altération de l'état physiologique des plantes, causée par des conditions défavorables, se reflète rapidement au niveau des signaux lumineux émis par les feuilles. L'augmentation des teneurs en chlorophylle totale est la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet d'un stress hydrique qui engendre une plus grande concentration (**Siakhène, 1984**). Par contre, la chute des teneurs en chlorophylle est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO<sub>2</sub> atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (**Bousba et al., 2009**).

Il a été démontré que les stomates des plantes cultivées, sur un sol qui se dessèche progressivement, se ferment entraînant une diminution de la concentration interne en CO<sub>2</sub> de la feuille (par l'inactivation de l'enzyme fixatrice du CO<sub>2</sub>) et une réduction de la photosynthèse. Selon **Morgan et Condon (1986)**, le stress peut réduire la photosynthèse de 05 fois par rapport au témoin, et provoque un arrêt de transfert des assimilats des feuilles vers les autres organes de la plante (**Hikosaka et al., 2006**).

**Tahri et al., (1998)** ont mis en évidence un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b). Ils révèlent une proportionnalité, mais inverse, entre les teneurs en proline accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliens perdues. Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa. Ces résultats suggèrent l'existence d'une connexion vraisemblable entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et de la proline. Une compétition entre ces deux composés sur leur précurseur commun, le glutamate, peut être à l'origine de cette évolution (**Bengston et al., 1978 ; Reddy et Veeranjanyulu, 1991**).

L'étude de l'évolution de l'activité de la glutamine synthétase (GS) foliaire, réalisée parallèlement à celle de la proline et des pigments chlorophylliens, montre qu'elle est aussi affectée par l'addition du PEG (polyéthylène glycol) au milieu de culture. Les pertes en

activité, enregistrées après 22 heures de stress, sont de l'ordre de 49%, 24% et 14% chez les variétés Cocorit, Tassaout et Acsad respectivement. Un transfert des plantules dans la solution nutritive sans PEG permet un retour progressif aux activités initiales (**Tahri et al., 1998**). Selon **Platt et Anthony (1981)**, la diminution de l'activité GS a été attribuée à une diminution du niveau énergétique (ATP) due à une réduction de l'activité photosynthétique par le stress. Elle a été, également, associée à une augmentation parallèle de l'activité de la glutamate déshydrogénase GDH (**Tirado et al., 1990**). Cette enzyme jouant un rôle important dans l'assimilation de l'ammonium en conditions de stress, pourrait continuer à assurer la biosynthèse du glutamate et a priori celle de la proline (**Lacuesta et al., 1990**).

Le taux de proline dans nos plantes est accumulé significativement dans les différentes parties des plantes de l'orge sous la pression des concentrations du gasoil et l'huile de moteur usée où l'augmentation est plus apparue dans les tiges que dans les gains, les feuilles et les racines. Pour les plantes du soja, l'accumulation est restée augmenter mais la situation est changée où les feuilles ont pris la première position que les autres parties (gains, tiges et racines) contre les doses du gasoil et l'huile de moteur.

Pour les protéines, on a enregistré une réduction significative atteinte 41.33% et 71.09% dans les feuilles et les racines des plantes de l'orge face aux doses du gasoil avec un ratio de 45 à 23%, la même diminution significative est observée contre les doses de l'huile de moteur avec un rapport peut atteindre 41% entre les racines et les feuilles. Chez les plantes de soja, on a marqué une augmentation (de 91%) dans le taux de protéines des racines et, au contraire, une réduction de 64% dans les feuilles contre le gasoil ; alors qu'on a enregistré le même phénomène avec les doses de l'huile de moteur avec une augmentation de 118% dans les racines et une diminution de 55% dans les feuilles.

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente l'une des manifestations les plus remarquables au niveau de tolérance aux stress (**Slama et al., 2005**). L'accumulation de cette dernière a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (**Bellinger et al., 1989 ; Dorfling et Askman, 1989 ; Ober et Sharp, 1994 ; Denden et al., 2005 ; Singh et al., 2006 ; Zerrad et al., 2006 ; Hassani et al., 2008 ; Djerroudi et al., 2010**). Elle pourrait jouer un rôle d'osmoticum (**Kauss, 1977**) et, également, intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique (**Pesci et Beffagna, 1984**), constituer une réserve d'azote utilisée par la plante postérieurement à la période du stress (**Tal et Rosenthal, 1979**), dans le maintien des pressions cytosol-vacuole (**Ottow et al., 2005**) ainsi que la stabilité des membranes (**Ashraf et Harris, 2004**). Pour cette raison,

**Bellinger et al., (1991)** ont proposé l'accumulation de la proline comme une technique de sélection. Selon un autre point de vue, l'accumulation de proline n'est pas une réaction d'adaptation au stress, mais plutôt le signe d'une perturbation métabolique (**Hanson et al., 1977 ; Hernandez et al., 2000**).

L'origine de la proline accumulée sous stress n'est pas totalement éclaircie. Elle est soit synthétisée de nouveau à partir de l'acide glutamique (Glu) ou soit via l'ornisitoile (Orn), qui sont utilisés comme précurseurs (**Samaras et al., 1995**). L'addition de l'ornithine dans le milieu de culture augmente la source de la proline par l'intermédiaire de l'enzyme ornithine-amino-transferase (**Chaib, 1998**). **Savouré et al., (1995)** montrent chez *Arabidopsis sp* que l'augmentation de transcrits de la P5CR (1-pyrroline-5-carboxylate synthétase) est corrélée à une augmentation de la proline. De plus, cet auteur a montré que cette augmentation était directement reliée à l'application du stress. En effet, lors de la phase de récupération juste après l'application du stress, le contenu en proline diminue en même temps que la quantité de transcrits correspondant à la P5CR (1-pyrroline-5-carboxylate synthétase) va diminuer.

Certains auteurs, comme (**Parida et al., 2002**) qui ont travaillé sur les feuilles de céleri, ont dit que l'accumulation de la proline est liée positivement avec le taux de déperdition d'eau. De même, l'une des causes principales de cette accumulation est l'accumulation des sucres solubles (Hexoses) (**Takemura et al., 2000 ; Ghasempour et al., 2007**). En effet, pour maintenir la balance de la force osmotique, les plantes accumulent un certain nombre d'osmotocums tels que la proline, les carbohydrates et la bétaine (**Wang et al., 2003 ; Sankar et al., 2007 ; Safarnejad, 2008**) qui, en association avec d'autres facteurs tels que la réduction de la transpiration par la fermeture des stomates et la réduction de la surface foliaire (**Cha-um et Kirdmanee, 2008**), permettent de garder la turgescence et le volume cytosolique aussi élevé que possible (**Bouzoubaa et al., 2001 ; Wang et al., 2003**). La proline pourrait intervenir dans ce cas en régulant, par l'augmentation de sa concentration, la pression osmotique interne (**Stewart et Lee, 1974**) mais aussi en inhibant les mécanismes d'auxésis (**Hubac et Guerrier, 1972**) ou en constituant un stock d'azote utilisable par la plante postérieurement à la période du stress (**Paquin, 1977 ; Tall et Rosental, 1979**).

**Khadi-Mounaye (2006)**, en travaillant sur la fève dans des conditions de stress, avait expliqué la résistance de la fève par une accumulation de la proline au niveau des différents organes de la plante. L'accumulation de la proline se fait dans le sens racines-feuilles aussi bien chez les plantes témoins que stressées. Cet acide aminé se concentre préférentiellement

dans les feuilles à des teneurs significativement élevées, lorsque la salinité du milieu en NaCl augmente. Ce constat a préalablement été rapporté par **Bidai (2001)** et **Djerroudi et al., (2010)** chez l'*Atriplex sp.* Cette variation serait due à une compartimentation de l'acide aminé, d'où l'expression de sites de résistance de la plante à la contrainte saline. Dans ce contexte, l'accumulation de la proline permet la protection de la membrane cellulaire et participe à l'ajustement osmotique (**Hassani et al., 2008**).

**Singh et al., (1973b)** notent, chez l'orge, que cette accumulation a lieu principalement au niveau des limbes foliaires et, à un degré moindre, au niveau des racines et des apex. Chez cette espèce, l'augmentation des teneurs en proline des feuilles serait un des symptômes de l'adaptation à la sécheresse. A l'appui de l'hypothèse de **Maggio et al., (2002)**, ils proposent que cette proline et les autres osmolytes peuvent agir comme une molécule du signal/régulateur capable d'activer des réponses multiples qui font partie du processus de l'adaptation. Plus le niveau de stress appliqué augmente, plus les teneurs en proline deviennent plus marquées (**Savouré et al., 1995**). Cette corrélation négative est observée chez différentes espèces de blé dur (**Nouri, 2002**) et chez la luzerne (**Hireche, 2006**). Il apparaît que la proline peut conférer la tolérance des plantes aux stress par le développement d'un système antioxydant qui peut jouer un rôle d'indicateur d'ajustement osmotique (**Eliane et al., 2007**).

Les hydrates de carbone peuvent être des facteurs essentiels dans l'accumulation de la proline, car la synthèse des protéines est liée automatiquement au métabolisme des glucides et à la respiration (dans le cycle de Krebs) par l'intermédiaire l' $\alpha$ -cétoglutarate qui forme le statut carbonique pour la synthèse de la proline (**Chaib, 1998**). L'accumulation de la proline libre a ralenti fortement dans les tiges et les racines des plantes nourries. Ce ralentissement dans ces organes présume une inhibition de son précurseur (**Rhodes et Handa, 1989**) ou une rapide activité de la proline déshydrogénase, impliquée dans la dégradation de l'acide aminé (**Peng et Verma, 1996**) vraisemblablement liée à l'apport de la proline à un seuil créant un effet antagoniste au stress comme le suggèrent (**Heyser et al., 1989a**).

L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires : stimulation de sa synthèse (**Bogges et al., 1976**), inhibition de son oxydation (**Rayapati et Stewart, 1991**) et/ou altération de la biosynthèse des protéines (**Stewart et al., 1977**). La proline serait synthétisée à partir de l'acide glutamique via l'acide 5-carboxylique-1-pyrroline (P5C) mais également via l'arginine et l'ornithine (**Lignowski et Slittstoesser, 1971**). La proline utiliserait, cependant, le glutamate provenant

d'autres voies, celle de l'ornithine par exemple. Selon **Stewart et al., (1977)**, une altération de la biosynthèse des protéines serait, en partie, à l'origine de la proline accumulée. Ainsi, l'accumulation de la proline est le résultat de l'inhibition de l'assimilation du CO<sub>2</sub> et l'augmentation du catabolisme des protéines (**Viégas et Gomes Da Silveira, 1999**).

Les protéines de stress jouent un rôle dans l'adaptation de la plante et de ce fait de nombreux chercheurs abordent la résistance au stress par l'isolement et l'étude de ces molécules (**Campalans et al., 1999**). **Schulze et al., (2005)** ont montré qu'une partie des protéines induites a une fonction directe dans l'augmentation de la tolérance au stress (protéines fonctionnelles), d'autres ont une fonction dans la chaîne de transduction (protéines régulatrices) qui aboutiront à la production de protéines fonctionnelles.

Nos résultats sont en concordance avec **Bouchelaghem (2014)** qui a mis en évidence une réduction de 33.92%, des teneurs moyennes en protéines totales chez les tiges ; en d'autres termes, le NPK a provoqué une forte perturbation de la synthèse des protéines, ce qui se traduit par une réduction du contenu protéique comme le stipulent les travaux de **Rabe et kreeb (1979)**. Au contraire, au niveau des racines traitées, il a mis en évidence une stimulation de la synthèse protéique qui s'expliquerait par le fait que la présence de NPK à l'intérieur des tissus stimule la synthèse de nombreuses enzymes entre autres celles intervenant dans la détoxification selon les travaux de **Shraddha et al., (2004)**.

Selon **Bousba Ratiba, (2012)** qui a étudié le blé dur, la valeur minimale a été notée chez le génotype Guemgoum r'kham avec 14,03 mg.g<sup>-1</sup> ; tandis que la valeur maximale a été observée chez les variétés Gta dur et Béliouni avec 33,75 et 24,21 mg.g<sup>-1</sup> respectivement. Donc, les variétés ont répondu au manque d'eau par une augmentation dans le niveau des protéines totales. Cette augmentation peut être due à une activation d'un ensemble de gènes permettant la synthèse des protéines spécifiques associées aux stress telles que les protéines « LEA » qui assurent une protection de l'ensemble vital des protéines cellulaires et les protéines de choc thermique qui permettent un maintien des structures protéiques et membranaires de la cellule végétale (**Baker et al., 1988**). Cette protection s'effectue de façon préférentielle selon les tissus, mais leur expression est fortement atténuée quand les cellules et les tissus sont en phase de récupération après un premier stress. Ainsi, la réponse des protéines de choc thermique peut être considérée comme un mécanisme universel de défense contre toute forme d'agression (**David et Grongnet, 2001 ; Abdel-Hady et al., 2001**).

Les protéines qui s'accumulent dans les plantes dans des conditions de stress peuvent fournir une forme de stockage de l'azote qui est utilisé plus tard (**Singh et al., 1987**) et

peuvent également jouer un rôle dans l'ajustement osmotique. Elles peuvent être soit synthétisées de nouveau en réponse au stress, soit présentées de façon constitutive à de faibles concentrations (**Pareek et Singla, 1997**). Des teneurs élevées en protéines solubles ont été observées chez des cultivars d'orge, de tournesol, de mil et de riz tolérants à la salinité (**Ashraf et Harris, 2004**). **Agastian et al., (2000)** ont noté que les teneurs en protéines de mûrier augmentent à faibles doses de stress (NaCl) et diminuent à fortes doses.

Notre étude a montré une diminution du taux de sucres solubles totaux dans les racines, les feuilles et les gains de l'orge en fonction de l'augmentation des doses du gasoil avec 33.22%, 37.11% et 59.32% contrairement aux tiges qui ont connu une accumulation de 50.88%. Face aux concentrations de l'huile de moteur usée, ces dernières ont exercé une réduction dans les feuilles et les gains arrivant à 63.43% et 59.75% ; alors qu'avec les racines et les tiges, on a enregistré une augmentation respective de 33.33% et 59.49% par rapport aux témoins. Pour les plantes du soja, l'augmentation des doses du gasoil a causé une diminution de 60.06%, 27% et 57.72% respectivement dans les racines, les feuilles et les tiges, par contre, aux gains enregistrant une augmentation de 17.71% ; dans le côté de l'huile de moteur, juste les tiges qui ont connu une accumulation suite à l'évolution des doses de cette dernière.

Les sucres jouent un rôle prédominant dans la vie d'une plante, ils sont produits par la photosynthèse, transportés vers les tissus profonds, canalisés vers la respiration ou convertis en composés de réserve qui sont éventuellement dégradés en carbohydrates. L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu (**Bajji et al., 1998**). De nombreuses études mettent en évidence une accumulation de teneurs élevées en sucres solubles chez différents types de plantes soumises à différents stress : hydrique (**Mefti et al., 1998 ; Kameli et Losel, 1995**), salin (**Zid et Grignon, 1991**), osmotique (**Abdelkrim et al., 2005**) et métallique (**Bouchelaghem et al., 2011**). Cette augmentation est en réalité un paramètre d'adaptation aux conditions de stress permettant de constituer une garantie pour le maintien d'une intégrité cellulaire élevée (**Mefti et al., 1998**).

L'accumulation des carbohydrates dans les plantes légumineuses, en réponse au stress, a été documentée dans les espèces de *Phaseolus sp* (**Bayuelo-Jimenez et al., 2012**) et *Medicago sativa* (**Farissi et al., 2011**). Leurs fonctions majeures consistent dans l'osmo-protection, l'ajustement osmotique, le stockage du carbone et le piégeage des radicaux libres (**Parida et al., 2004**). Les sucres ont été signalés comme des osmorégulateurs potentiels

(Kameli et Losel, 1995 ; Sanchez *et al.*, 1999). Ils jouent un rôle important dans l'ajustement osmotique, lequel est considéré comme une réponse adaptative des plantes aux conditions de stress (Zhang *et al.*, 1999 ; Abdul, 2004). Ils peuvent protéger les membranes et les protéines contre la déshydratation en incitant la formation d'une sorte de verre aux températures physiologiques (David *et al.*, 1998).

Les sucres solubles sont des indicateurs des degrés de stress, à cause de son importante augmentation lors de la sévérité, les sucres métaboliques (glucose, galactose, saccharose, et fructose) permettent la résistance aux différents stress (Zerrad *et al.*, 2006). Les sucres accumulés pendant le stress vont probablement être utilisés dans la croissance après la levée de cette contrainte (Kameli et Losel, 1995).

La variabilité des teneurs en carbohydrates reflète la capacité des plantes à s'adapter à diverses conditions écologiques comme les divers stress. Chez la plupart des plantes supérieures, les premiers produits de la photosynthèse sont le saccharose et l'amidon ; ces deux glucides sont généralement stockés au niveau foliaire pendant la journée ; chez d'autres espèces, les alditols (sorbitol) aussi sont synthétisés et stockés avec ces deux derniers sucres. Par ailleurs, il a été signalé qu'une synthèse des sucres (saccharose) et des polyols a été stimulée par le stress (Mehouachi, 1993).

L'accumulation des sucres solubles peut résulter d'une augmentation de l'hydrolyse de l'amidon puisqu'ils ont enregistré, simultanément, une diminution de l'amidon et une accumulation de sucres solubles dans les tissus stressés. D'après Bensari *et al.*, (1990), lorsque la contrainte cesse, la feuille reconstitue les réserves d'amidon et si une nouvelle contrainte intervient, le temps d'adaptation est plus court. Des métabolites primaires, comme le méthyl-beta-D-glucose, dont la présence en grande quantité chez certaines espèces alpines est tout à fait nouvelle, ne sont pas directement impliqués dans les mécanismes photo protecteurs mais pourraient jouer un rôle de puits de carbone au sein des tissus photosynthétiques (Cornic *et al.*, 2005).

Selon Belfakih *et al.*, (2013), la salinité a réduit, curieusement, le taux de sucres dans les racines chez les deux variétés de bananier étudiées ; ces constats ont été rapporté par Ottow *et al.*, (2005) chez les feuilles de l'olivier. La régression des sucres solubles dans les racines peut être expliquée par sa migration vers les feuilles pour s'y compartimenter sous contrainte saline d'où le rôle important des sucres dans l'osmorégulation. En effet, Hare et Cress (1997) remarquent que les sucres (glucose, fructose et le saccharose) représentent des osmoticums beaucoup moins puissants que la proline, ils participent eux aussi au maintien

de la balance de la force osmotique. Par ailleurs, il a été observé que sous stress hydrique, les réserves amylacées sont progressivement utilisées suite à leur conversion rapide en saccharose qui pourra être associé à une inhibition de la synthèse de l'amidon (Geigenberger *et al.*, 1997).

Ce type de tolérance permet à la plante d'assurer normalement ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique interne. Hellmann *et al.*, (2000) pensent que cette accumulation de carbohydrates ne pourrait pas être due à une surproduction des assimilés mais reflétant plutôt une réduction de leur translocation du site de synthèse, des feuilles vers le reste de la plante, et particulièrement le système racinaire, dont la croissance est tributaire. Les nombreux cas où sont décelées des accumulations de sucres ou de leurs dérivés alcools (mannitol, sorbitol...) s'accompagnent aussi de l'augmentation d'un des composés aminés (proline ou glycine-bétaïne) (Levigneron *et al.*, 1995).

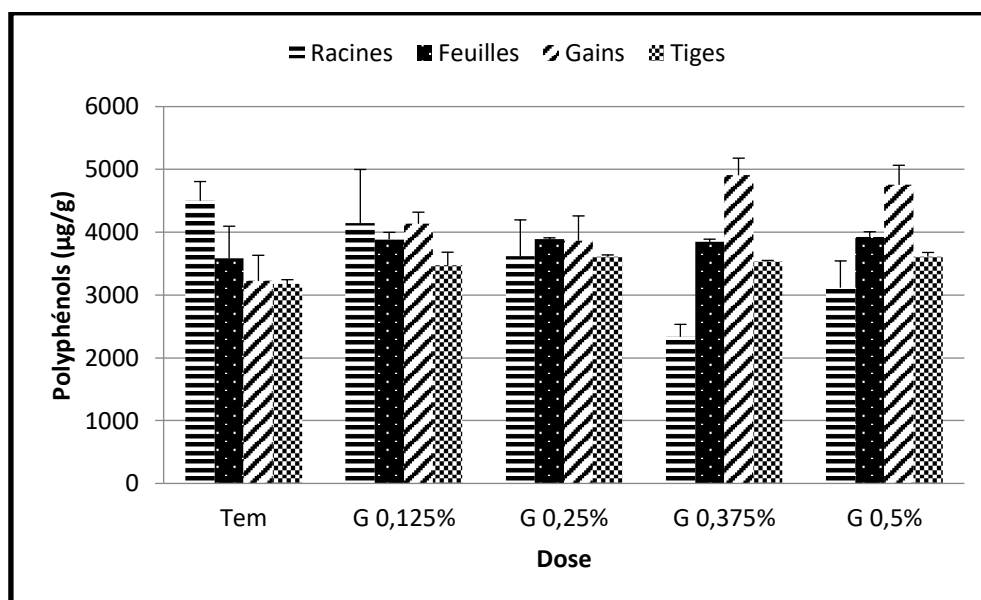
L'accumulation des sucres solubles serait due, selon certains auteurs à une modification d'activités enzymatiques liées au métabolisme glucidique (Hajhashemi *et al.*, 2006). Ainsi, Udomchalothorn *et al.*, (2009) observent, chez les plantes de riz, une diminution de l'activité du fructose-2-6-biphosphate, conduisant à une accumulation de saccharose et contribuant ainsi à l'augmentation de la tolérance en augmentant l'osmolarité interne des cellules et les réserves disponibles en carbone.

## 7. Teneurs en antioxydants

### 7.1. Effet du gasoil sur les teneurs en polyphénols totaux de l'orge

Le traitement au gasoil des plantes de l'orge (figure 102) entraîne, d'un côté, une diminution de la teneur en polyphénols chez les racines de  $4499.93 \pm 306 \mu\text{g.g}^{-1}$  (dans le témoin) à  $2335.03 \pm 197 \mu\text{g.g}^{-1}$  (dans la dose 0.375%). D'un autre côté, les mêmes doses causent une accumulation passe d'une légère augmentation, atteinte à 9.58% dans les feuilles et 13.84% dans les tiges, à une haute augmentation arrivant à 47.42% dans la dose 0.5% chez les gains par rapport au témoin qui porte une valeur de  $3223.96 \pm 408 \mu\text{g.g}^{-1}$ .

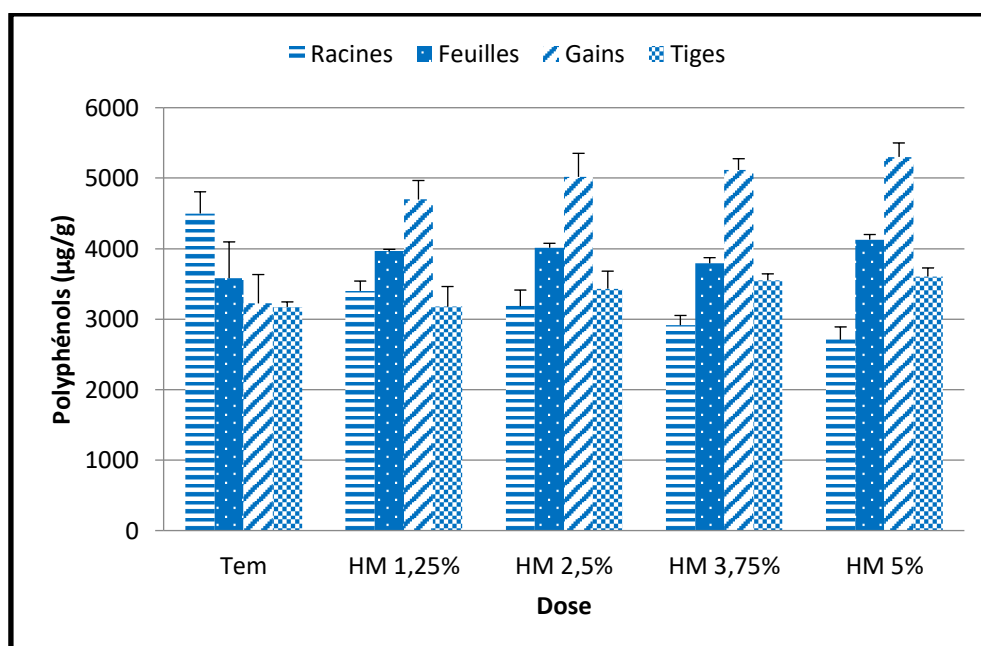
L'analyse statistique montre un effet hautement significatif dans les racines avec 04 groupes homogènes, les gains avec 03 groupes et les tiges avec 02 groupes homogènes ; par contre, les mêmes traitements du gasoil n'ont aucun effet significatif sur les polyphénols des feuilles de l'orge.



**Figure 102.** L'effet du gasoil sur les teneurs en polyphénols totaux ( $\mu\text{g EAG} / \text{g}$  matière sèche) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 23 / tableaux 81, 82, 83, 84).

## 7.2. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en polyphénols totaux de l'orge

Les résultats de la **figure 103** suggèrent que pour l'huile utilisée, seuls les polyphénols des racines sont baissés d'une manière progressive où on remarque une chute de 24.42% à 39.83%, depuis la dose 1.25% jusqu'à la dose 5%, par rapport au témoin. Les autres parties marquent une augmentation remarquable en commençant par les tiges (de  $3172.92 \pm 71 \mu\text{g.g}^{-1}$  à  $3605 \pm 120 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) suivant par les feuilles (de  $3582.96 \pm 513 \mu\text{g.g}^{-1}$  à  $4128.84 \pm 71 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) et en finalisant par les gains (de  $3223.96 \pm 408 \mu\text{g.g}^{-1}$  à  $5301.67 \pm 197 \mu\text{g.g}^{-1}$ ).

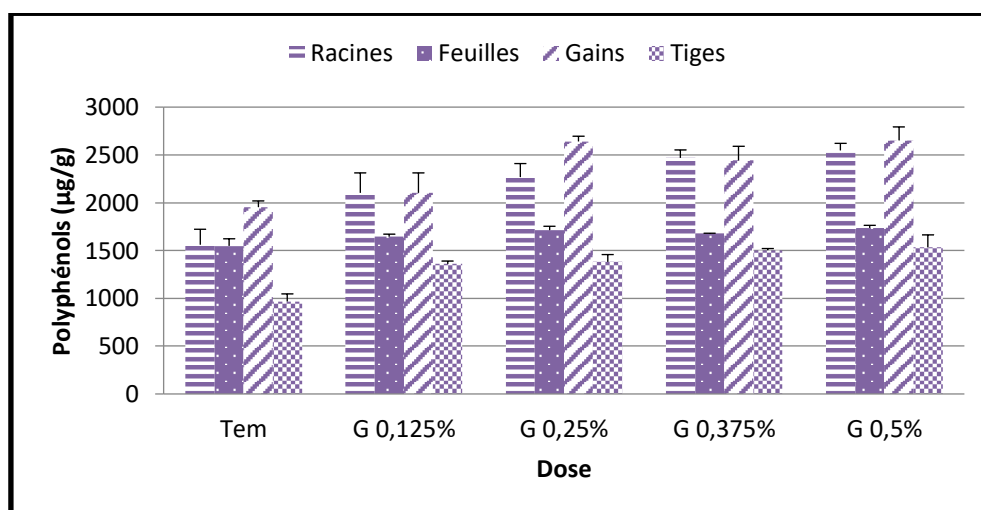


**Figure 103.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur les teneurs en polyphénols totaux ( $\mu\text{g EAG} / \text{g}$  matière sèche) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 57 / tableaux 195, 196, 197, 198).

D'une manière statistique, les résultats ne sont pas significatifs pour les feuilles, alors qu'ils sont significatifs pour les autres parties où le témoin est mis dans le groupe (A) parmi 05 groupes homogènes dans les racines, dans le groupe (B) parmi 02 groupes homogènes dans les gains et dans le groupe homogène (A) dans les tiges de l'orge.

### 7.3. Effet du gasoil sur les teneurs en polyphénols totaux du soja

Les résultats pour les phénols totaux dosés dans le soja (**figure 104**) montrent une accumulation proportionnelle hautement significative selon les traitements posés dans les racines, les feuilles, les gains et les tiges. Les analyses statistiques enregistrent 04 groupes homogènes commencés par les doses 0.5% et 0.375% (+ 63.26% et + 58.26) portées dans le groupe (A) suivies par les doses 0.25% et 0.125% portées respectivement dans les groupes (AB) et (B) et arrivées à la dose 0% qui enregistre une teneur de  $1560.94 \pm 161 \mu\text{g.g}^{-1}$  et mise dans le groupe (C) des racines.



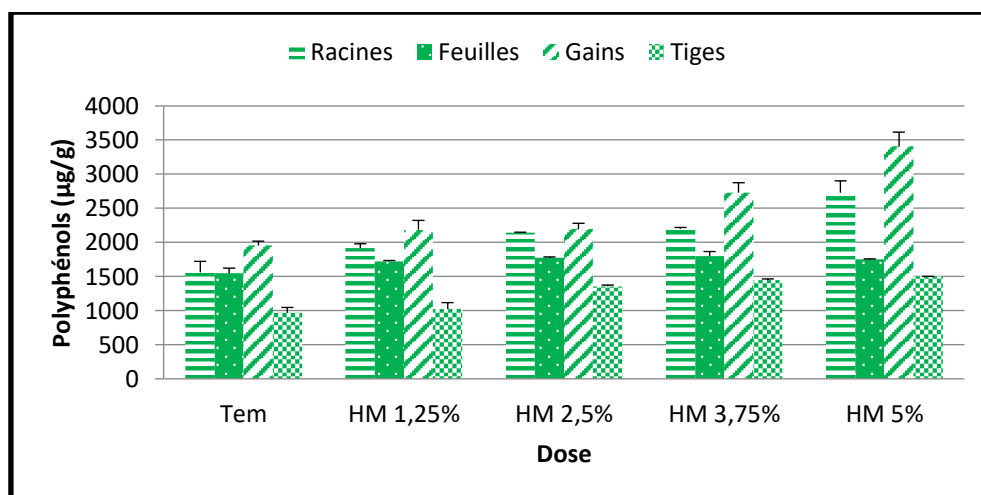
**Figure 104.** L'effet du gasoil sur les teneurs en polyphénols totaux ( $\mu\text{g EAG} / \text{g}$  matière sèche) du soja *Glycine max* (annexe 40 / tableaux 139, 140, 141, 142).

Pour les feuilles et les tiges, l'analyse donne 02 groupes homogènes en séparant le témoin, positionné dans le groupe homogène (B), des autres concentrations du gasoil qui sont placées dans le groupe (A). Par contre, bien qu'il y ait aussi 02 groupes homogènes dans les gains, la concentration 0.125% ( $2103.23 \pm 208 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) n'est pas significative avec le témoin ( $1954.36 \pm 64 \mu\text{g.g}^{-1}$ ).

### 7.4. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en polyphénols totaux du soja

Les teneurs en polyphénols totaux (**figure 105**) sont  $1560.94 \pm 161 \mu\text{g.g}^{-1}$ ,  $1548.18 \pm 74 \mu\text{g.g}^{-1}$ ,  $1954.36 \pm 64 \mu\text{g.g}^{-1}$  et  $967.61 \pm 78 \mu\text{g.g}^{-1}$  respectivement dans les témoins des racines, feuilles, gains et tiges du soja, relativement faibles aux teneurs des autres doses qui, respectivement, arrivent dans leurs hauts niveaux à  $2728.46 \pm 173 \mu\text{g.g}^{-1}$ ,  $1802.31 \pm 64 \mu\text{g.g}^{-1}$ ,

3406.85±210  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  et 1499.27±78  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , donc l'obtention d'une augmentation de 74.79%, 16.47%, 74.30% et 55.01% par rapport aux plantes témoins.



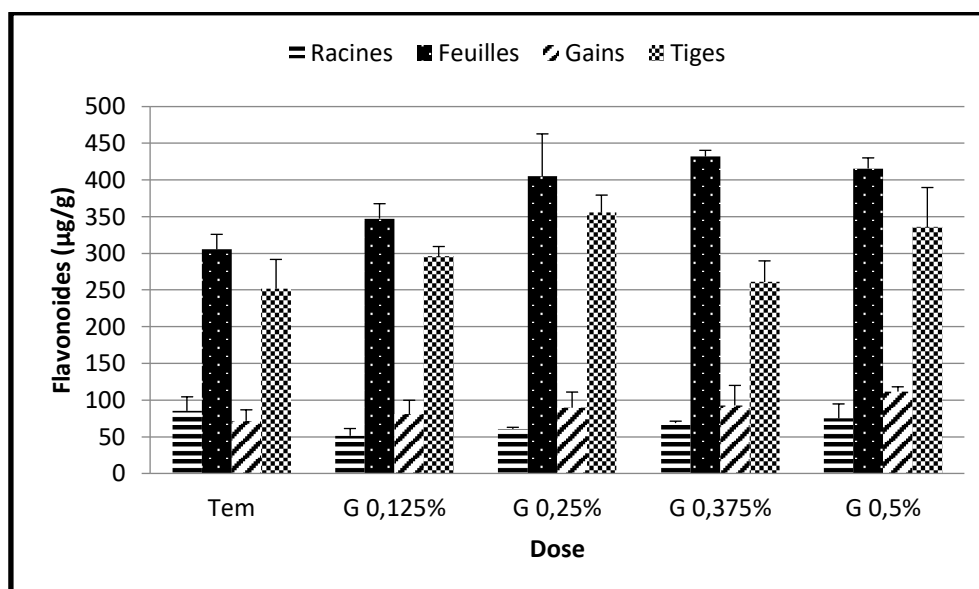
**Figure 105.** L'effet de l'huile de moteur usée sur les teneurs en polyphénols totaux ( $\mu\text{g EAG} / \text{g}$  matière sèche) du soja *Glycine max* (annexe 74 / tableaux 253, 254, 255, 256).

D'après l'analyse statistique ANOVA, les racines prennent 04 groupes homogènes avec l'existence de la dose 5% dans le groupe (A) et la dose 0% dans le groupe (D) ; les feuilles prennent 02 groupes : (B) pour le témoin et (A) pour les autres doses. Pour les gains, le témoin est dans le groupe (C) et n'est pas significatif avec les doses 1.25% et 2.5%. Le même groupe porte le témoin dans les tiges, mais juste la concentration 1.25% qui n'est pas significative avec le témoin dans cette partie.

### 7.5. Effet du gasoil sur les teneurs en flavonoïdes de l'orge

L'examen des résultats de **la figure 106** révèle que les teneurs en flavonoïdes sont basses, en plus de ça, ils sont diminués dans les racines avec un pourcentage atteint à 39.80% par rapport au témoin ( $85.27\pm 19.12 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Dans les autres différentes parties, les taux vont augmenter proportionnellement avec l'augmentation des doses posées sur les plantes de l'orge et atteignent à  $431.98\pm 8.38 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,  $111.57\pm 6.50 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  et  $355.51\pm 23.88 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  par rapport aux plantes témoins qui portent des valeurs de  $305.45\pm 20.39 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,  $71.69\pm 14.98 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  et  $251.78\pm 39.91 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  respectivement dans les feuilles, les gains et les tiges.

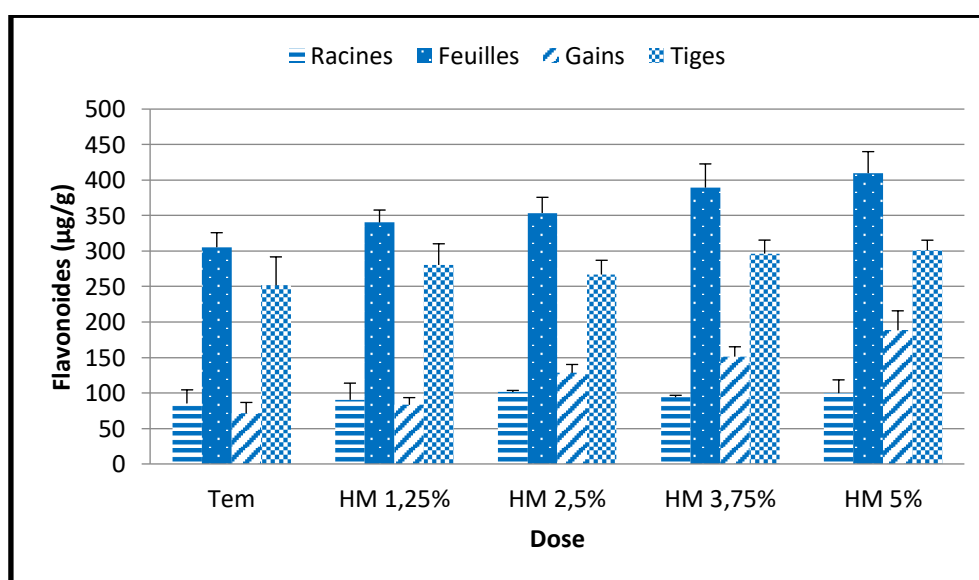
Les analyses statistiques montrent un effet non significatif dans les racines et les gains, alors que les concentrations du gasoil font un effet hautement significatif dans les feuilles avec une obtention de 02 groupes homogènes, le premier rassemble les doses 0.5%, 0.375% et 0.25% ; par contre, la dose 0.125% n'est pas significative avec le témoin et les deux se positionnent dans le deuxième groupe. Dans les tiges, les résultats sont aussi hautement significatifs dans 03 groupes homogènes, sauf la dose 0.375% qui n'est pas significative.



**Figure 106.** L'effet du gasoil sur les teneurs en flavonoïdes ( $\mu\text{g EQ} / \text{g}$  matière sèche) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 24 / tableaux 85, 86, 87, 88).

### 7.6. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en flavonoïdes de l'orge

La figure 107 montre que l'huile de moteur exerce une accumulation dans les teneurs en flavonoïdes dans toutes les parties de l'orge en commençant, de petite à haute valeur, par les racines qui varient de  $85.27 \pm 19.12 \mu\text{g.g}^{-1}$  (dans le témoin) à  $101.39 \pm 2.23 \mu\text{g.g}^{-1}$  (dans la dose 2.5%) avec un effet non significatif, passant aux gains enregistrant une augmentation importante estimée à 162.74% par rapport au témoin ( $71.69 \pm 14.98 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) ; ce qui signifie, d'après l'étude statistique, l'existence de 03 groupes homogènes : le groupe (A) pour la dose 5%, le groupe (B) rassemble les doses 3.75% et 2.5% et le groupe (C) regroupe la dose 1.25% avec le témoin (non significative avec le témoin).

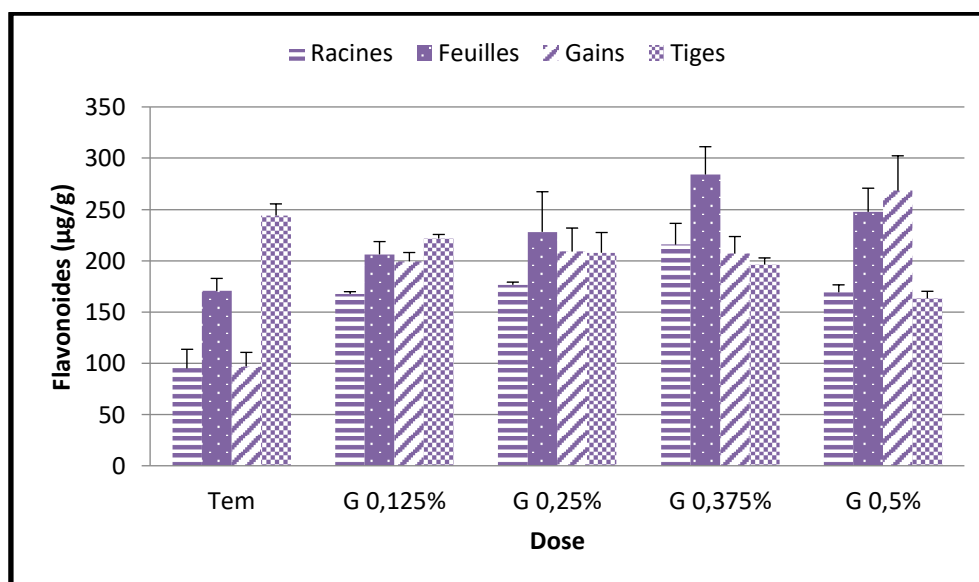


**Figure 107.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur les teneurs en flavonoïdes ( $\mu\text{g EQ} / \text{g}$  matière sèche) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 58 / tableaux 199, 200, 201, 202).

Continuant à grimper, les tiges de l'orge accusent une petite augmentation varie entre 11.37% et 19.67% face au témoin portant une teneur de  $251.78 \pm 39.91 \mu\text{g.g}^{-1}$ , cette baisse accumulation donne une non significativité entre les résultats. Arrivant aux grandes teneurs de flavonoïdes, les feuilles produisent des valeurs de  $305.45 \pm 20.39 \mu\text{g.g}^{-1}$  (la dose 0%) à  $340.34 \pm 17.46 \mu\text{g.g}^{-1}$  (la dose 1.25%),  $353.45 \pm 33.26 \mu\text{g.g}^{-1}$  (la dose 2.5%),  $389.45 \pm 33.26 \mu\text{g.g}^{-1}$  (la dose 3.75%) et  $409.92 \pm 30.92 \mu\text{g.g}^{-1}$  (la concentration 5%), donnant respectivement les groupes homogènes suivants : (C), (BC), (ABC), (AB) et (A).

### 7.7. Effet du gasoil sur les teneurs en flavonoïdes du soja

Les résultats sont donnés dans la **figure 108**, ils représentent une augmentation des teneurs en flavonoïdes dans les racines, les feuilles et les gains du soja d'une façon hautement significative suivant l'augmentation des traitements du gasoil, sauf que la haute valeur, dans les racines et les feuilles, est dans la dose 0.375% ( $215.72 \pm 20.68 \mu\text{g.g}^{-1}$  /  $284.13 \pm 27.04 \mu\text{g.g}^{-1}$  respectivement) et n'est pas dans la dose 0.5%, alors que la haute dose prend la grande valeur ( $268.33 \pm 33.98 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) dans les gains. Dans les tiges, les teneurs diminuent, inversement, selon l'évolution des doses de  $244.15 \pm 11.24 \mu\text{g.g}^{-1}$  (pour la petite dose 0%) à  $163.33 \pm 6.84 \mu\text{g.g}^{-1}$  (pour la plus grande dose 0.5%).



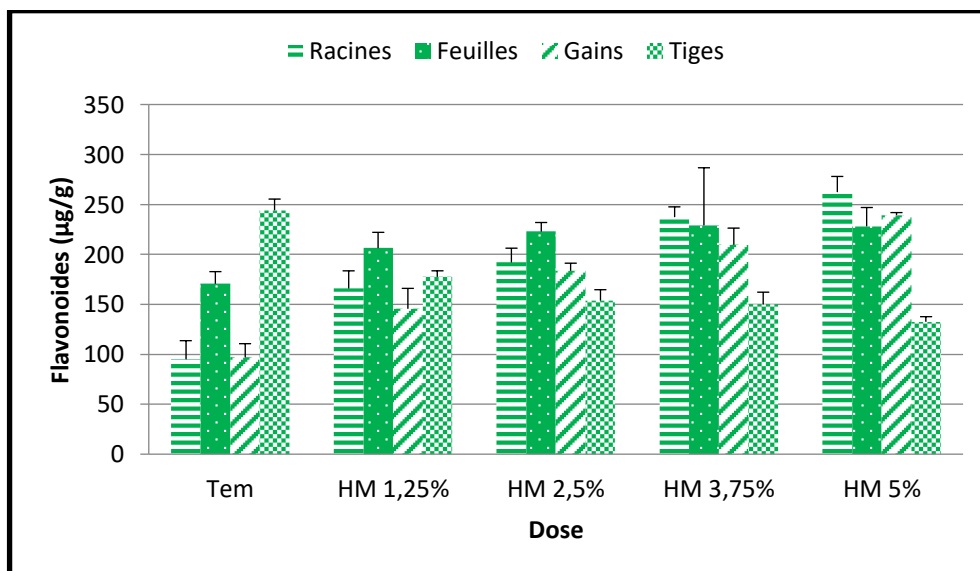
**Figure 108.** L'effet du gasoil sur les teneurs en flavonoïdes ( $\mu\text{g EQ} / \text{g}$  matière sèche) du soja *Glycine max* (annexe 41 / tableaux 143, 144, 145, 146).

D'après l'étude statistique hautement significative, les racines et les gains donnent 03 groupes homogènes où le témoin se place dans le groupe (C). Pour les deux parties restées, on note 05 groupes pour chacune mais la différence est que la dose 0.375% est dans le groupe (A) et la dose 0% dans le groupe (C) dans les feuilles, et que le témoin est dans le groupe (A) et la dose 0.5% est dans le groupe (D) dans les tiges.

### 7.8. Effet de l'huile de moteur sur les teneurs en flavonoïdes du soja

Pour l'effet de l'huile de moteur (**figure 109**), les concentrations de cette dernière font un effet hautement significatif sur les racines, les gains et les tiges. Commençant par les racines, il y a 03 groupes homogènes, le premier représente les deux grandes doses 5% et 3.75% avec  $262.39 \pm 15.59 \mu\text{g.g}^{-1}$  et  $237.36 \pm 10.18 \mu\text{g.g}^{-1}$ , le deuxième regroupe les doses 2.5% et 1.25% avec  $191.96 \pm 14.23 \mu\text{g.g}^{-1}$  et  $165.87 \pm 17.61 \mu\text{g.g}^{-1}$  et le troisième groupe représente le témoin avec la faible teneur  $95.03 \pm 18.57 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Passant aux gains, on enregistre 05 groupes homogènes de (A) à (E) représentant les doses, respectivement, de 5% ( $239.27 \pm 12.54 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) à 0% ( $96.93 \pm 13.65 \mu\text{g.g}^{-1}$ ).

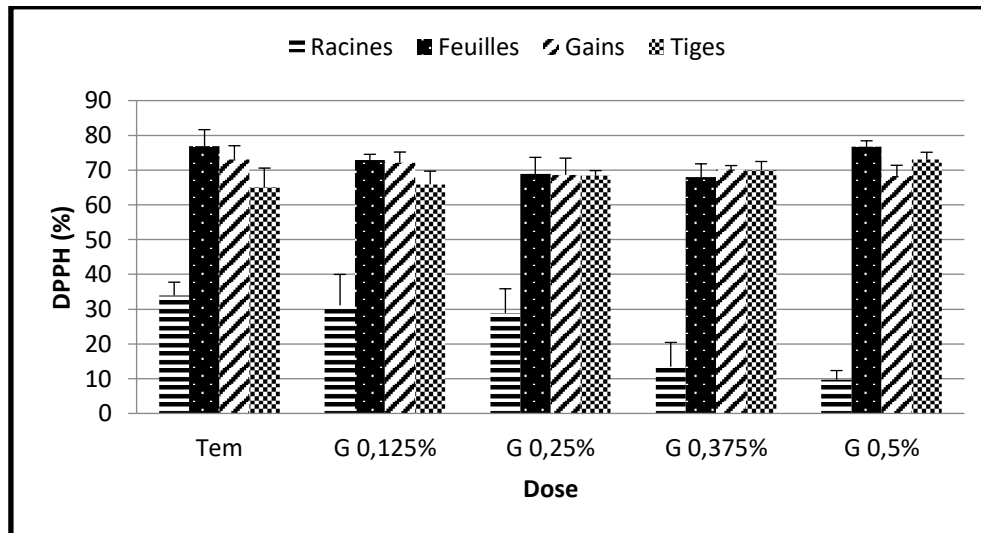
Les concentrations de l'huile utilisée, dans les tiges du soja, exercent un effet inverse sur la production des flavonoïdes où la petite dose (0%) marque la grande teneur ( $244.15 \pm 11.24 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), cette valeur est diminuée pour atteindre  $132.46 \pm 5.17 \mu\text{g.g}^{-1}$  dans la dernière dose 5%. Pour les feuilles, l'étude statistique n'est pas significative malgré l'accumulation en flavonoïdes.



**Figure 109.** L'effet de l'huile de moteur utilisée sur les teneurs en flavonoïdes ( $\mu\text{g EQ} / \text{g}$  matière sèche) du soja *Glycine max* (annexe 75 / tableaux 257, 258, 259, 260).

### 7.9. Effet du gasoil sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH de l'orge

La **figure 110** montre que l'activité anti radicalaire par le DPPH est faible dans les racines et diminue de  $33.96 \pm 3.75\%$  (témoin) à  $9.67 \pm 2.65\%$  (la dose 0.5%), la même évolution est remarquée dans les feuilles et les gains sauf que les teneurs sont plus grandes que les racines (de  $76.85 \pm 4.78\%$  à  $67.93 \pm 3.87\%$  dans les feuilles et de  $73.05 \pm 3.96\%$  à  $68.24 \pm 3.14\%$  dans les gains). Au contraire, il y a une augmentation moyenne allant de  $65.08 \pm 5.50\%$  à  $73.05 \pm 2.08\%$  dans les tiges.

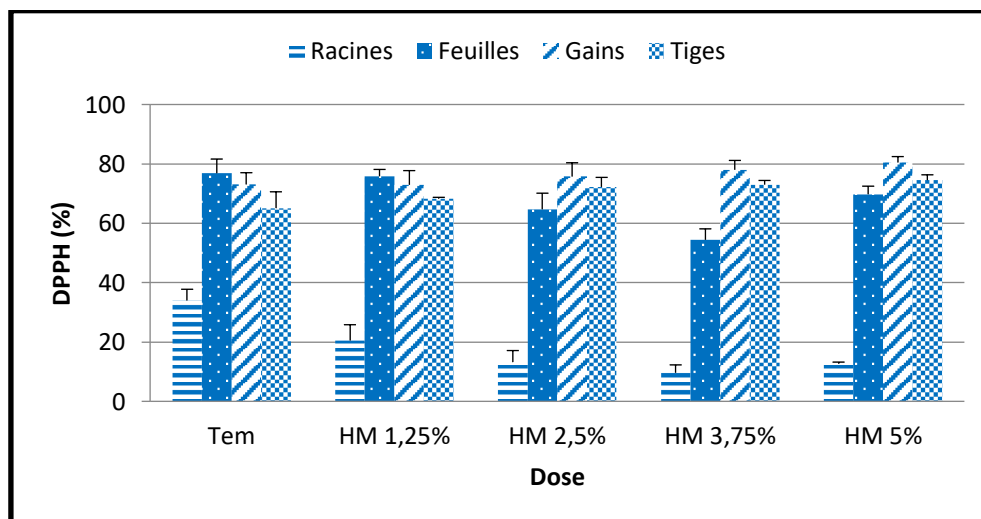


**Figure 110.** L'effet du gasoil sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH (%) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 25 / tableaux 89, 90, 91, 92).

L'étude statistique donne un effet hautement significatif dans les racines (sauf les doses 0.125% et 0.25%), un effet significatif dans les feuilles et un effet non significatif dans les gains et les tiges de l'orge sous la pression des doses du gasoil.

#### 7.10. Effet de l'huile sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH de l'orge

D'après les résultats de la **figure 111**, l'huile de moteur fait une réduction hautement significative de l'activité anti oxydante dans les racines et les feuilles, ce qui enregistre 04 groupes homogènes dans les premières : (A) pour le témoin, (B) pour la dose 1.25%, (BC) pour les doses 2.5% et 5% et (C) pour la dose 3.75%. Dans les feuilles, on a aussi 04 groupes où la dose 1.25% n'est pas significative avec le témoin et se positionnent ensemble dans le groupe (A), la dose 5% est dans le groupe (AB), la dose 2.5% est dans le groupe (B) et la dose 3.75% se place dans le groupe (C).

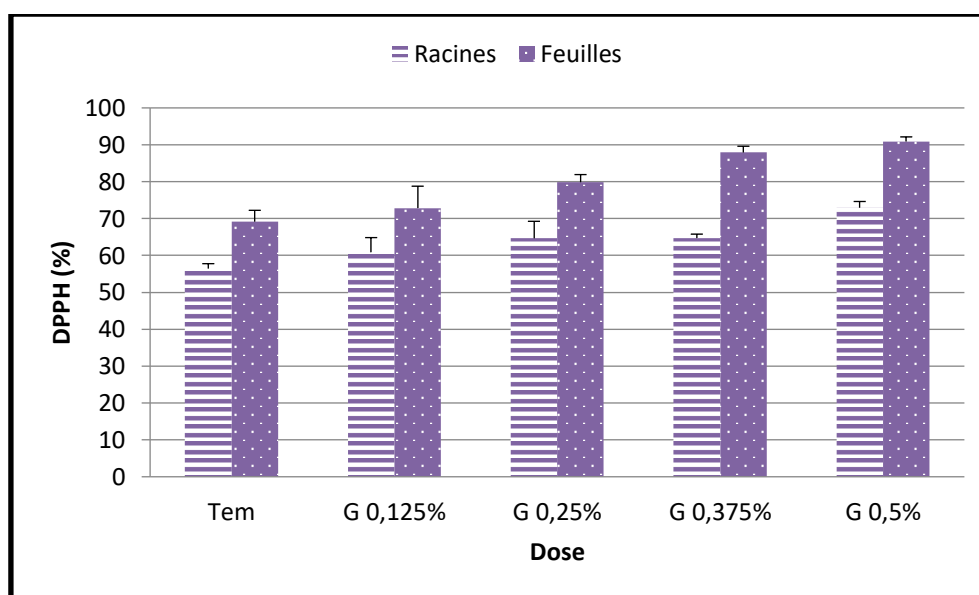


**Figure 111.** L'effet de l'huile de moteur usée sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH (%) de l'orge *Hordeum vulgare* (annexe 59 / tableaux 203, 204, 205, 206).

L'inverse s'apparait dans les 02 parties restantes où on marque une augmentation (non significative dans les gains et significative dans les tiges) commencée par  $73.05 \pm 3.96\%$  et  $65.08 \pm 5.50\%$  respectivement dans les témoins de l'orge (placés dans le groupe homogène (B) pour les tiges) et arrivée à  $80.45 \pm 1.99\%$  et  $74.50 \pm 1.80\%$  dans les doses 5% (placée dans le groupe homogène (A) toujours pour les tiges car pour les gains l'effet est non significatif).

### 7.11. Effet du gasoil sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH du soja

Dans les plantes du soja (**figure 112**), le gasoil exerce une accumulation dans l'activité anti radicalaire comme suivant :  $56.44 \pm 1.33\%$ ,  $60.87 \pm 3.97\%$ ,  $64.65 \pm 4.61\%$ ,  $64.73 \pm 1.06\%$  et  $72.94 \pm 1.69\%$  respectivement pour les doses de la petite à la grande. Ça pour les racines ; mais pour les feuilles, les valeurs sont plus grandes et atteintes jusqu'à  $90.90 \pm 1.24\%$  dans la grande dose (0.5%).

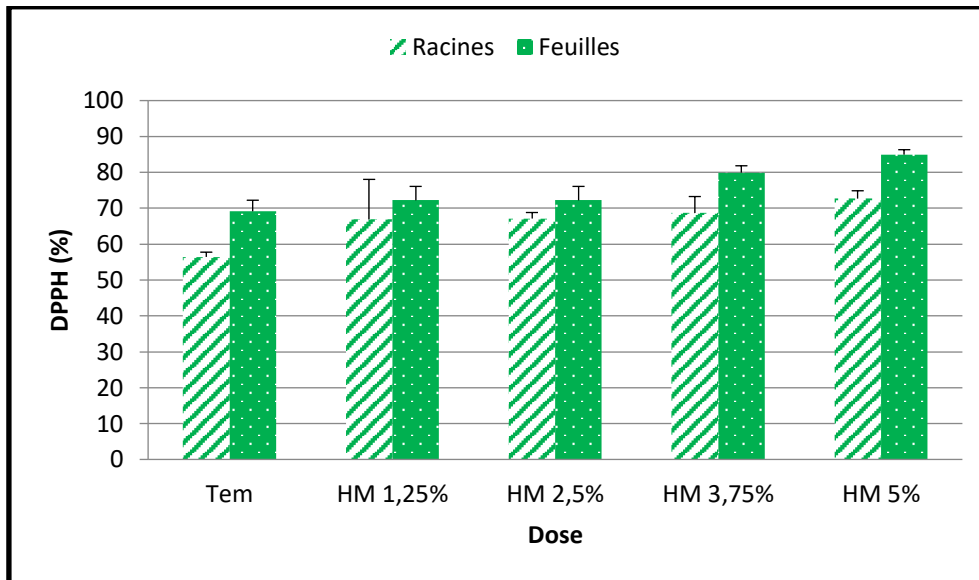


**Figure 112.** L'effet du gasoil sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH (%) du soja *Glycine max* (annexe 42 / tableaux 147, 148).

L'étude statistique montre un effet hautement significatif dans les 02 parties avec l'existence de 04 groupes homogènes dans les racines et 03 groupes pour les feuilles où la dose 0.125 n'est pas significative avec le témoin.

### 7.12. Effet de l'huile de moteur sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH du soja

Comme indiquée dans **la figure 113**, L'augmentation des doses de l'huile de moteur utilisée exerce une influence positive sur les pourcentages en activité anti radicalaire dans les feuilles et les racines du soja, avec des valeurs supérieures pour les feuilles (de  $69.16 \pm 3.08\%$  à  $84.94 \pm 1.37\%$ ) que pour les racines (de  $56.44 \pm 1.33\%$  à  $72.7 \pm 2.17\%$ ).



**Figure 113.** L'effet de l'huile de moteur usée sur l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH (%) du soja *Glycine max* (annexe 76 / tableaux 261, 262).

L'analyse statistique donne 03 groupes homogènes dans les racines, le premier groupe représente la dose 5%, le deuxième regroupe les doses 3.75%, 2.5% et 1.25% et le dernier est mis pour le témoin. Dans les feuilles, on a juste 02 groupes où les doses 1.25% et 2.5% ne sont pas significatives avec le témoin.

### 7.13. Discussion

Arrivant aux antioxydants, notre expérience a marqué une accumulation des teneurs des polyphénols chez les tiges, les feuilles et les gains de l'orge respectivement avec 9.58%, 13.84% et 47.42% suite à l'évolution des doses du gasoil et avec 13.65%, 15.24% et 64.47% contre les concentrations de l'huile de moteur usée. Alors que pour les plantes du soja, toutes les parties ont enregistré une augmentation face aux deux polluants testés.

Les flavonoïdes (qui sont basses par rapport aux polyphénols) sont accumulés dans toutes les parties de l'orge (racines, tiges, feuilles et gains) contre l'huile de moteur de 16.47% à 19.92%, 34.09% et 164.78% ; au contraire, les teneurs des racines sont réduites avec les doses du gasoil par un pourcentage de 11.76%. Concernant les plantes du soja, sauf les tiges contre les doses du gasoil et l'huile de moteur usée qui sont inversement proportionnelle avec une diminution de 33.19% et 45.90%, les autres parties ont eu fait une accumulation à différents pourcentages où les gains ont porté la première position.

Nos résultats ont noté une diminution de l'activité antiradicalaire par l'effet de DPPH des plantes de l'orge face aux doses du gasoil dans les racines (par 24%), les feuilles (par 09%) et les gains (par 05%) ; mais quand les plantes sont contre les doses de l'huile, juste les racines et les gains qui ont eu une diminution (avec 21% et 7%). Pour le soja, il y a une

augmentation de l'activité antioxydante dans les racines et les feuilles contre les O<sub>2</sub> polluants avec 16.5% et 16.3% pour les premiers et avec 21.74% et 15.78% pour les deuxièmes.

Les mécanismes d'action des antioxydants sont divers, incluant le captage de l'oxygène singulier, la désactivation des radicaux par réaction d'addition covalente et la réduction de radicaux ou de peroxydes (**Favier, 2006**). D'une manière générale, un antioxydant peut empêcher l'oxydation d'un autre substrat en s'oxydant lui-même plus rapidement que celui-ci. Un tel effet résulte d'une structure de donneurs d'atomes d'hydrogène ou d'électrons souvent aromatiques (cas de dérivés du phénol). En plus, leurs radicaux intermédiaires sont relativement stables du fait de la délocalisation par résonance et par manque de positions appropriées pour être attaqué par l'oxygène (**Yaacoub, 2009**).

Les antioxydants sont en fait des agents de prévention, ils bloquent l'initiation en complexant les catalyseurs ou en réagissant avec l'oxygène ; ou sont des agents de terminaison capables de dévier ou de piéger les radicaux libres, ils agissent en formant des produits finis non radicalaires. D'autres, en interrompant la réaction en chaîne de peroxydation, ou en réagissant rapidement avec un radical d'acide gras avant que celui-ci ne puisse réagir avec un nouvel acide gras. Tandis que d'autres antioxydants absorbent l'énergie excédentaire de l'oxygène singlet pour la transformer en chaleur (**Yaacoub, 2009 ; Hellal, 2011**).

L'activité antioxydante d'un composé correspond à sa capacité à résister à l'oxydation. En effet, la plupart des antioxydants possèdent des groupes hydroxy phénoliques dans leurs structures et les propriétés antioxydantes sont attribuées en partie, à la capacité de ces composés naturels à piéger les radicaux libres tels que les radicaux hydroxyles (OH•) et superoxydes (O<sub>2</sub>•) (**Rice-Evans et al., 2005 ; Bartosz, 2003**).

Il a été prouvé que, dans les conditions difficiles, la quantité de composés antioxydants est augmentée dans les tissus végétaux (**Maisuthisakul et al., 2007**). Dans les plantes, les contraintes environnementales (biotiques et abiotiques) entraînent l'accumulation des constituants de polyphénols (**Dixon et Palva, 1995**). Une augmentation de la teneur en polyphénols dans les différents tissus, sous un stress croissant, a également été rapportée dans certains nombres de plantes (**Agastian et al., 2000 ; Muthukumarasamy et al., 2000**). **Navarro et al., (2006)** ont montré une augmentation de la teneur totale en polyphénols avec une teneur modérément saline dans les poivrons rouges. Les composés phénoliques présentent une activité antioxydante en inactivant les radicaux libres des lipides ou en empêchant la décomposition des hydro-peroxydes en radicaux libres (**Pokorny et al., 2001**).

**Ksouri et al., (2007)**, qui ont travaillé sur *Cakile maritima*, ont montré que la tolérance de la variété Jerba au traitement léger au NaCl était concomitante de l'enrichissement des feuilles en polyphénols, alors que la sensibilité relative de Tabarka correspondait à une diminution de ces composés. En effet, Ils ont obtenu une augmentation de rendement de polyphénol avec 74% (par rapport au témoin). Ils ont supposé que la différence de capacité à accumuler des polyphénols a joué un rôle dans la différence de tolérance au stress des deux variétés.

Les plantes tolérantes au stress régulent le mouvement des ions et de l'eau et maintiennent un meilleur système de défense antioxydant contre les ROS (**Hussain et al., 2012**). Une forte accumulation de composés phénoliques dans les plantes joue un rôle essentiel pour surmonter le stress oxydatif (**Hichem et al., 2009**). De plus, l'acide férulique résiste au stress de la déshydratation en diminuant les lipides de peroxydation due à l'activation d'enzymes antioxydantes et à l'augmentation de la teneur en proline et en sucres solubles des feuilles de concombre (**Li et al., 2013**).

**Hunt et Baker (1980)** ont signalé que la lumière augmentait le taux de biosynthèse phénolique des plantes en stimulant les activités enzymatiques, en particulier la phénylalanine-ammoniac-lyase (PAL) qui joue un rôle important dans la conversion de la phénylalanine (issue de la voie de l'acide shikimique) en acide coumarique, qui est la première molécule précurseur impliquée dans la synthèse de composants phénoliques (flavonoïdes et hydroxycinnamates) chez les plantes (**Smith, 1973**). Dans le même sens, **Males et al., (2003)** ont indiqué que les parties aériennes de *Crithmum maritimum* récoltées avant la floraison et au début de la floraison présentaient les teneurs les plus élevées en polyphénols totaux par rapport aux autres stades.

Il a été signalé que le mécanisme antioxydant des flavonoïdes pourrait également provenir de l'interaction entre les ions de métaux de transition et les flavonoïdes pour produire des complexes empêchant les ions de métaux de participer à la génération de radicaux libres (**Miller et al., 1996**). Parallèlement, en tant que chélateurs naturels des métaux, les flavonoïdes jouent un rôle important dans la bio-utilisation du métal et de la toxicose anti-métal (**Chen et al., 1990**). Ils forment des complexes avec les métaux (**Viswanathan et al., 2000**), comme cela a été démontré pour les complexes de rutine et de métaux de transition (**Bai et al., 2004**).

**Lachman et al., 2005** ont montré que dans tous les organes de la plante de l'orge, le traitement au Cd a entraîné une diminution de la teneur en flavonoïdes. Par rapport à la

variante de contrôle, la diminution a été observée dans les racines (avec 84,7%), les pousses (avec 61,4%) et les feuilles (avec 53,2%). Il est évident que l'augmentation de Cd et la diminution des flavonoïdes dans les parties de la plante sont réciproques. Les flavonoïdes étant des chélateurs de métaux efficaces (**Chen et al., 1990 ; Bai et al., 2004**), donc nombreuses structures flavonoïdes sont liées aux métaux de transition dans les complexes chélatés, lesquelles ont récemment été élucidées sur le rutine-Cu, ce qui explique la diminution de flavonoïdes libres dans les variantes traitées au Cd. Ainsi, les plantes utilisent apparemment la formation de complexes chélatés avec des flavonoïdes pour réduire le stress causé par les métaux lourds (**Bai et al., 2004**).

Le test au radical libre DPPH• est recommandé pour des composés contenant des groupes SH-, NH- et OH- (**Salah et al., 1995**). Le piégeage des radicaux libres par des antioxydants est tributaire de deux (02) types de mécanismes : la libération de l'atome d'hydrogène du groupement hydroxyle (cinétique rapide de certaines acides et dérivées phénoliques) et la libération d'un électron (cinétique lente des dérivés glycosylés) (**Nanjo et al., 1996 ; Huang et al., 2005**). Dans le cas des composés phénoliques ( $\Phi$ -OH), le mécanisme principal d'action est le piégeage des radicaux libres par le transfert de l'atome H sur le DPPH• alors transformé en une molécule stable DPPHH (**Sanchez-Moreno et al., 1998 ; Molyneux, 2004**).

**Ksouri et al., (2007)** ont dit que ses résultats suggèrent que, chez les plantes de Tabarka, un déséquilibre entre la génération de ROS et les systèmes de balayage pourrait s'être produit. Ces activités peuvent être directement liées à la teneur en phénols, tanins et flavonoïdes et par conséquent à leurs activités de piégeage des radicaux libres (**Huang et al., 2006**). **Duh et al., (1999)** ont observé une corrélation entre le contenu phénolique et l'activité antioxydante, car les composés phénoliques contribuent directement à l'activité antioxydante.

## Conclusion

Parmi les principaux polluants générés dans l'environnement, les hydrocarbures sont présents comme des éléments naturels ou des résultats des activités anthropiques. Leurs rejets industriels et ménagers peuvent entraîner des risques d'altérations, de l'équilibre écosystémique et de la santé humaine. Cependant, le manque de connaissance de base des mécanismes d'accumulation des hydrocarbures dans les sols et les végétaux a conduit à clarifier ces mécanismes pour mieux comprendre comment réduire le taux de ces polluants.

L'objectif du présent travail consiste à évaluer l'effet toxique de deux (02) carburants « le gasoil et l'huile de moteur usée » sur deux espèces de deux familles différentes (modèles) utilisées comme des plantes phytoremédiantes dans ce domaine, la première est l'orge *Hordeum vulgare* de la partie des graminées et la deuxième est le soja *Glycine max* parmi les légumineuses. Le second objectif est de connaître la réponse de ces espèces aux différentes agressions infligées par les polluants utilisés en comparant les teneurs des paramètres étudiés par l'utilisation de quelques techniques variées.

L'effet des deux hydrocarbures sur la germination a été suivi, les résultats obtenus montrent que l'huile de moteur n'influe pas de manière significative sur le taux de germination des deux plantes testées, alors que le gasoil exerce un effet sur les graines du soja, cet effet peut être à la barrière physique causée par le polluant enveloppant la semence et empêche l'entrée d'oxygène et d'eau. La vitesse de germination de l'orge a été affectée négativement contre les deux polluants, à l'opposé du soja où le gasoil a modifié la vitesse d'une façon positive. Ces précédents résultats nous ont amené à un effet non significatif de l'huile de moteur usée sur la moyenne journalière de germination de l'orge et du soja contrairement au gasoil qui a fait une pression augmentative significative, contre les graines du soja, due aux interférences dans les relations hydriques des plantes testées.

A l'échelle morphobiométrique, l'effet du stress hydrocarboné se traduit par une baisse significative de la surface foliaire totale, de la longueur et du poids frais et sec des deux plantes, ce qui influe sur la productivité d'épis pour l'orge et de cornes pour le soja. Ces changements peuvent être dus à une modification de la fertilité du sol conduisant à un déséquilibre nutritionnel entraînant une faible croissance et même une très faible production de biomasse. En effet, ce retard de développement et la réduction de la surface foliaire sont attribués à un ralentissement des divisions cellulaires ou à une diminution de l'expansion cellulaire et permettent aux plantes (l'orge et le soja) d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress hydrocarboné.

Concernant les paramètres physiologiques, le gasoil et l'huile de moteur ont augmenté la teneur relative en eau (RWC) de l'orge d'une façon significative. Par contre, la plante du soja a enregistré une diminution non significative de la teneur en eau inversement au taux de déperdition où les feuilles ont pris une augmentation à 30, 60 et 120 minutes. Le déficit hydrique de saturation est diminué significativement sous la pression du deux polluants contre l'orge et a porté le sens inverse dans les plantes du soja d'une façon non significative. Pour la matière sèche, la partie aérienne a porté la plus grande valeur contre le gasoil et l'huile de moteur, chez les plantes de l'orge, contrairement aux autres parties (et spécialement la partie racinaire). Chez le soja, il y ait presque une similarité entre les parties de plantes où on n'a remarqué un effet clair soit avec le gasoil ou avec l'huile de moteur usée. Cela peut être attribué aux propriétés hydrophobes du pétrole, qui ont altéré l'infiltration de l'eau et l'humidité du sol, et donc la plante met en place un mécanisme d'ajustement osmotique (osmorégulation) lié à sa capacité à accumuler certains solutés.

Arrivant à la caractérisation biochimique, l'effet du gasoil et de l'huile de moteur usée se traduit par une baisse significative du taux de la chlorophylle (dans le soja et l'orge) qui peut être due à une dilution de cette dernière et une inhibition des photosystèmes I et II et donc une baisse dans la photosynthèse augmentant que l'intensité du stress est plus accentuée. Cependant, les deux plantes testées ont accumulé certains osmotocums à l'intérieur de leurs cellules (dans quelques organes) dont la proline et les sucres qui permettent également une préservation de l'intégrité membranaire ainsi qu'une protection des protéines (principalement dans les racines où il y a une grande diminution). Dans le côté des antioxydants, la phytotoxicité du gasoil et de l'huile de moteur usée a une stimulation de la synthèse des composés antioxydants comme réponse des plantes au stress causé reflétant sur le taux des polyphénols et des flavonoïdes et sur l'activité antiradicalaire où on a enregistré une accumulation importante dans l'orge et même dans le soja pour inactiver les radicaux libres des lipides ou empêcher la décomposition des hydro-péroxydes en radicaux libres.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence que les effets d'un déversement des substances hydrocarbonées ne sont pas les mêmes et varient selon la physiologie de chaque plante, de chaque organe et même selon le type de carburant. Donc, la capacité de tolérer la contamination des hydrocarbures est une caractéristique spécifique de chaque espèce étudiée.

Notre travail laisse entrevoir quelques perspectives souhaitables comme :

- Le dosage des hydrocarbures dans les sols et les différentes parties des plantes utilisées.
- L'application de cette étude sur différents stades de cycle de vie sur le champ
- L'étude des enzymes impliquées dans la réponse au stress hydrocarboné.
- L'application des études génétiques et la recherche des marqueurs moléculaire pour une amélioration de la tolérance.

**Références Bibliographiques**

- Abdel-Hady, M.S., El-Sayed, O.E., Solaiman, E.A.M., Esmail, R.M., Hassan, A.H.M., 2001.** Genetic detection of protein markers in some drought tolerant wheat cultivars regeneration from somatic embryogenesis. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 26: 5981-5997.
- Abdelkrim, F., Djebbar, R., Aid, F., 2005.** Effet d'un stress osmotique sur la germination et le début de croissance de deux variétés de colza : *Brassica napus* L. Eurol et Goeland. *1<sup>er</sup> Colloque Euroméditerranéen de Biologie Végétale et Environnement*, Annaba 28-30 novembre 2005.
- Abdul, W., 2004.** Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. *Botanical bulletin of Academia Sinica*, Vol. 45: 133-141.
- Aboussouane-Seropian, C., Planchan, C., 1985.** La réponse de la photosynthèse de deux variétés de blé à un déficit hydrique foliaire. *Edition Agronomie*, Vol. 5 (7): 639-644.
- Achuba, F., 2006.** The effect of sublethal concentrations of crude oil on the growth and metabolism of Cowpea (*Vigna unguiculata*) seedlings. *Environmentalist*, Vol. 26:17-20.
- Adam, G., Duncan, H.J., 1999.** Effect of diesel fuel on growth of selected plant species. *Environmental geochemistry and health*, Vol. 21 (4): 353-357.
- Adam, G., Duncan, H.J., 2002.** Influence of diesel fuel on seed germination. *Environmental Pollution*, Vol. 120 (2): 363-370.
- Adam, G., Duncan, H.J., 2003.** The effect of diesel fuel on common vetch (*Vicia sativa* L.) plants. *Environmental geochemistry and health*, Vol. 25 (1):123-130.
- Adenipekun, C.O., Oyetunji, O.J., Kassim, L.Q.S., 2008.** Effect of spent engine oil on the growth parameters and chlorophyll content of *Corchorus olitorius* L. *Environmentalist*, Vol. 28: 446-450.
- Adenipekun, C.O., Oyetunji, O. J., Kassim, L.Q., 2009.** Screening of *Abelmoschus esculentus* L. moench for tolerance to spent engine oil. *Journal of Applied Biosciences*, Vol. 20: 1131-1137.
- Afnor, Association française de normalization., 1982.** Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes, jus de fruits, ISBN 978-2-12-336242-5.
- Agastian, P., Kingsley, S.J., Vivekanandan, M., 2000.** Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*, Vol. 38: 287-290.
- Agbogidi, O.M., Onosode, A.T., Okonta, B.C., 2006.** Susceptibility of *Dennettia tripetala* (Bak.) f. seeds to crude oil. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, Vol. 2: 350-352.
- Agbogidi, O.M., Enujeke, E.C., 2012.** Effects of spent motor oil on soil physico-chemical properties and growth of *Arachis hypogaea* L. *Global Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 1: 71-74.
- Agence pour la diffusion de l'information technologique (ADIT), 2006.** Traitement biologique des sols pollués : recherche et innovation. In ADEME. Publications ADEME (*Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie*) : sites pollués et sol. [<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&id=43479&p1=02&p2=11&ref=17597>].
- Akmouci-Toumi, S., 2009.** Contribution à l'étude des boues de forage : Isolement et évaluation de la capacité de quelques souches microbiennes à dégrader le gasoil. Mémoire de Magister, *Université M'hamed Bougara Boumerdes*: 73-94.
- Alkio, M., Tabuchi, T.M., Wang, X., Colón-Carmona, A., 2005.** Stress responses to polycyclic aromatic hydrocarbons in *Arabidopsis* include growth inhibition and hypersensitive response-like symptoms. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 56 (421): 2983-2994.

- Ammar, R.B., Bhourri, W., Sghaier, M.B., Boubaker, J., Skandrani, I., Neffati, A., Bouhlel, I., Kilani, S., Mariotte, A.M., Chekir-Ghedira, L., Dijoux-Franca, M.G.D., Ghedira, K., 2009.** Antioxidant and free radical-scavenging properties of three flavonoids isolated from the leaves of *Rhamnus alaternus* L. (Rhamnaceae): A structure-activity relationship study. *Food Chemistry*, Vol. 116: 258-264.
- Anderson, T.A., Guthrie, E.A., Walton, B.T., 1993.** Bioremediation in the rhizosphere. *Environmental Science & Technology*, Vol. 27: 2630-2636.
- Ashraf, M.Y., Harris, P.J.C., 2004.** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, Vol. 166: 3-16.
- Atuanya, E.I., 1987.** Effect of waste engine oil pollution on the physical and chemical properties of the soil: A case study of waste contaminated delta soil in Bendel State. *Nigerian Journal of Applied Science*, Vol. 5: 155-176.
- Bahorun, T., Gressier, B., Trotin, F., Brunete, C., Dine, T., Vasseur, J., Gazin, J.C., Pinkas, M., Luycky, M., Gazin, M., 1996.** Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneimittel Forschung*, Vol. 46: 1086-1089.
- Bai, Y., Song, F., Chen, M., Xing, J., Liu, Z., Liu, S., 2004.** Characterization of the rutin-metal complex by electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Analytical Sciences*, Vol. 20: 1147-1151.
- Bajji, M., Kinet-Lutts-Stanley, J.M., 1998.** Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L and their corresponding callus cultures. *Plant Science*, Vol. 137: 131-142.
- Baker, D., Hicke, L., Rexach, M., Schleyer, M., Schekman, R., 1988.** Reconstitution of SEC gene product-dependent inter-compartmental protein transport. *Cell*, Vol. 54 (3):335-344.
- Baker, J.M., 1970.** The effects of oils on plants. *Environmental Pollution*, Vol. 1 (1): 27-44.
- Baker, J.M., 1971.** Growth stimulation following oil pollution. In: Cowell EB (Ed) the ecological effects of oil on pollution and littoral communities. *London Institute of Petroleum*, 72-77.
- Balasubramaniyam, A., Harvey, P.J., 2014.** Scanning electron microscopic investigations of root structural modifications arising from growth in crude oil-contaminated sand. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 21 (22): 12651-12661.
- Ballerini, D., Guibet, G.C., Montagne, X., 2007.** Carburants. *Encyclopaedia Universalis*: 22.
- Barcelo, J., Poschenrieder, C., 1990.** Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review. *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 13 (1): 1-37.
- Barrs, H.D., Weatherley, P.E., 1962.** Re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Science and Technology*, Vol. 15: 412.
- Bartosz, G., 2003.** Generation of reactive oxygen species in biological systems. *Comments on Toxicology*, Vol. 9:5-21.
- Bayuelo-Jimenez, J.S., Jasso-Plata, N., Ochoa, I., 2012.** Growth and Physiological Responses of *Phaseolus* species to salinity stress. *International Journal of Agronomy*. Vol. 2012 (11): 13.
- Belfakih, M., Ibriz, M., Zouahri, A., 2013.** Effet de la salinité sur les paramètres morpho-physiologiques de deux variétés de bananier (*Musa acuminata* L). *Journal of Applied Biosciences*, Vol. 70: 5652-5662.
- Belkhodja, R., 1993.** Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in barley (*Hordeum vulgare* L.). Master of Science Thesis. *Instituto Agronomico Mediterraneo de Zaragoza*, Spain.

- Bellinger, Y., Bensaoud, A., Lahrer, P., 1989.** Physiological accumulation: a trait of use to breeding for stress tolerance. In Acevedo, Conesa, Monneveux & Srivastava (Eds): Physiology breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments. Colloque n° 55, July 03-06, 1989, Montpellier, France: 449-458.
- Bellinger, Y., Bensaoud, A., Larher F., 1991.** Physiological significance of proline accumulation, a trait of use to breeding for stress tolerance. Colloque physiology breeding of winter cereals for stressed mediterranean environments, Montpellier (France). Ed. Les colloques .55. (INRA) *Institut national de la recherche agronomique*. Paris.
- Bengston, C., Klockare, B., Klockare, R., Larsson, S., Sundquist, C., 1978.** The after effect of water stress on chlorophyll formation during greening and the level of abscisic acid and proline in dark grown wheat seedlings. *Plant Physiology*, Vol. 43: 205-212.
- Bennaceur, M., Gharbi, M.S., Paul, R., 1999.** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie, en matière de céréales. *Sécheresse*, Vol. 10 (1): 27-33.
- Bensari, M., Calme, S.J., Viala, G., 1990.** Répartition du carbone fixé par photosynthèse entre l'amidon et le saccharose dans la feuille de soja : influence d'un déficit hydrique. *Plant physiology and Biochemistry*, Vol. 28: 113-124.
- Bento, R.A., Saggin-Junior, O.J., Pitard, R.M., Straliotto, R., Da-Silva, E.M.R., DeLucena-Tavares, S.R., De-Landa, F.H.T.G., Martins, L.F., Volpon, A.G.T., 2012.** Selection of Leguminous trees associated with symbiont microorganisms for phytoremediation of petroleum-contaminated soil. *Water, Air and Soil Pollution*, Vol. 223: 5659-5671.
- Bergue, J.M., Mérienne, D., 1986.** La pollution des sols par les hydrocarbures. *Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées*, Vol. 146: 57-66.
- Berti, W.R., Cunningham, S.D., 2000.** Phytostabilization of metals. In Phytoremediation of Toxic Metals Using Plants to Clean up the Environment, *Raskin, I. (ed). Wiley Interscience, John Wiley and sons, Inc. New York, NY: 71-88.*
- Bertrand, J.C., Mille, G., 1989.** Devenir de la matière organique exogène. Un modèle : les hydrocarbures. In : Bianchi, M., Marty, D., Bertrand, J. C. et Gauthier, M. J. Editions, *Les microorganismes dans les écosystèmes océaniques*. Masson (Paris), chapitre, Vol. 13: 343-385.
- Bezzala, A., 2005.** Essai de l'introduction de l'arganier (*Argania spinosa* L) dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse. Mémoire de Magistère, *Université El Hadj Lakhdar: 25-28.*
- Bidai, Y., 2001.** Le métabolisme de la proline chez l'*Atriplex halimus* L. stressée à la salinité. Mémoire de magister en physiologie végétale, *Université Es-Senia, Oran: 69-71.*
- Black, H., 1995.** Absorbing Possibilities: Phytoremediation. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 103 (12): 1106-1108.
- Bliss, R.D., Platt-Aloria, K.A., Thomson, W.W., 1986.** Osmotic sensitivity in relation to sensitivity in germination barley seeds. *Plant Cell and Environment*, Vol. 9: 721-725.
- Blumer, M., 1976.** Polycyclic aromatic hydrocarbons in nature. *Scientific American*, Vol. 234 (1): 34-45.
- Bogges, S.F., Aspinall, D., Paleg, L.G., 1976.** Stress metabolism. IX. The significance of end product inhibition of proline synthesis and of compartmentation in relation to stress induced proline accumulation. *Australian Journal of Plant Physiology*, Vol. 3: 513-525.

- Bois, G., 2005.** Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique. Thèse de doctorat. Université de Marseille. France: 187.
- Bolwell, G.P., Wojtaszek, P., 1997.** Mechanisms for the generation of reactive oxygen species in plant defense, a broad perspective, *Physiological and Molecular Plant Pathology*, Vol. 51: 347-366.
- Bona, C., Santos, O.G., 2003.** Adaptações fisiológicas de espécies vegetais crescendo em solo contaminado com petróleo. Curitiba: FUNPAR; UFPR. *Relatório Técnico*: 52.
- Boopathy, R., 2000.** Factors limiting bioremediation technologies. *Bioresource Technology*, Vol. 74: 63-67.
- Bouchelaghem, S., Djebbar-Berrebah, H., Djebbar, M.R., 2011.** The impact of dust emits by the steel complex of El Hadjar (ANNABA) on two biological models: Mousses and lichens. *African Journal of Biotechnoly*, Vol. 10: 3574-3578.
- Bouchelaghem, S., 2014.** Contribution à l'étude de l'impact d'un engrais couramment utilisé en Algérie (NPK) sur la croissance, le métabolisme et le développement racinaire d'un modèle végétal : blé dur (*Triticum durum* Desf), Thèse de doctorat. *Université Badji Mokhtar Annaba*: 75.
- Bouchez, M., 1995.** Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'environnement. *Revue de l'Institut Français du Pétrole (IFP)*, Vol. 51 (03): 407-419.
- Boukherissa, M., 2008.** Etude de la stabilité des asphaltènes dans le pétrole brut. Choix de dispersants et le mécanisme. Thèse de doctorat de l'université Paul Verlaine, Metz: 44.
- Bounaqba, S., 1998.** Analyse des déterminants de la tolérance à NaCl chez le blé tendre, le triticales et l'orge. Utilisation de la fluorescence chlorophyllienne dans le diagnostic de l'état fonctionnel du photosystème II. Doctorat de Biologie, Faculté des Sciences de Tunis, *Université Tunis*: 2.
- Bousba, R., 2012.** Caractérisation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) : Analyse de la physiologie et de la capacité en production, Thèse de doctorat. *Université Mentouri Constantine*: 78.
- Bousba, R., Ykhlef, N.M., Djekounm, A.M., 2009.** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf). *World Journal of Agricultural Sciences*, Vol. 5 (5): 609-616.
- Bouzoubaa, Z., El-Mourid, M., Karrou, M., El-Gharous, M., 2001.** Manuel d'analyse chimique et biochimique des plantes. Eds INRA Maroc.
- Bradford, M.M., 1976.** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. Vol. 72: 248-254.
- Brandt, R., Merkl, N., Schultze-Kraft, R., Infante, C., Broll, G., 2006.** Potential of vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) for phytoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils in Venezuela. *International Journal of Phytoremediation*, Vol. 8: 273-284.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C., 1995.** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technology*, Vol. 28: 25-30.
- Briggs, D.E., 1992.** Barley Germination: Biochemical changes and hormonal control, *Biochemistry*, Vol. 9: 369-401.
- Buckley T.N., 2005.** The control of stomata by water balance. *The New phytologist*, Vol. 168: 275-292.
- Buol, S.W., Southard, R.J., Graham, R.C., McDaniel, P.A., 2011b.** Soil genesis and classification. *John Wiley & sons, In Experimental Agriculture*, Vol. 48 (2): 309-309.

- Caldwell, C.R., Britz S.J., Mirecki, R.M., 2005.** Effect of temperature, elevated carbon dioxide, and drought during seed development on the isoflavone content of dwarf soybean *Glycine max* (L.) Merrill grown in controlled environments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 53: 1125-1129.
- Campalans, A., Messeguer, R., Goday, A., Pagès, M., 1999.** Plant responses to drought, from ABA signal transduction events to the action of the induced proteins. *Plant Physiology and Biochemistry*, Vol. 37 (5): 327-340.
- Cao, B., Nagarajan, K., Loh, K.C., 2009.** Biodegradation of aromatic compounds: current status and opportunities for biomolecular approaches. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 85: 207-282.
- Castrol., 2006.** ABC du graissage : Structure, Utilisation et propriétés des lubrifiants. *Switzerland AG : HC-04/2006*. 1-73.
- Chaib, G., 1998.** Teneur en proline chez les différents organes de blé dur (*Triticum durum* Desf). Essai d'explication des conditions d'accumulation sous manque d'eau. Thèse de Doctorat. *Université de Constantine*: 103.
- Chaineau, C., Morel, J., Oudot, J., 1996.** Land treatment of oil-based drill cutting in an agricultural soil. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 25: 858-867.
- Chaineau, C., Morel, J., Oudot, J., 1997.** Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbons. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 26: 1478-1483.
- Cha-um, S., Kirdmanee, C., 2008.** Effect of osmotic stress on proline accumulation, photosynthetic abilities and growth of sugarcane plantlets (*Saccharum officinarum* L.) *Pakistan Journal of Botany*, Vol. 40 (6): 2541-2552.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S., 2003.** Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, Vol. 30: 239-264.
- Chaves, M., Flexas, J., Pinheiro, C., 2009.** Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, Vol. 103: 551-560.
- Chen, Y.T., Zheng, R.L., Jia Z.J., Ju Y., 1990.** Flavonoids as superoxide scavengers and anti-oxidants. *Free Radical Biology and Medicine*, Vol. 9: 19-21.
- Chen, T.H.H., Murata, N., 2002.** Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes, *Current Opinion in Plant Biology*, Vol. 5: 257.
- Chugh, L.K., Sawhney, S.K., 1999.** Photosynthetic activities of *Pisum sativum* seedlings grown in presence of cadmium. *Plant Physiology and Biochemistry*, Vol. 37 (4): 297-303.
- CIRC, 2008.** Centre International de la Recherche sur le Cancer. Organisation mondiale de la santé. *Cancérodig*, Vol. 2 (1): 61-62.
- Clarke, J.M., Romagosa, I., Jana, S., Srivastava, J.P., Mc Caig, T.N., 1989.** Relation of excised leaf water loss rate and yield of durum wheat in diverse environments, *Canadian Journal of Plant Science*, Vol. 69: 1057-1081.
- Clarke, J.M., Mc caig, T., 1982.** Excised leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes, *Canadian Journal of Plant Science*, Vol. 62: 571-587.
- Clementina, O., Adenipekun-Olusola, J., Oyetunji-Luqman, S., Kassim, A., 2008.** Effect of spent engine oil on the growth parameter sand chlorophyll content of *Corchorus olitorius* Linn. *Environmentalist*, Vol. 28: 446-450.

- Coleman, J.O.D., Blake-Kalff, M.M.A., Davies, T.G.E., 1997.** Detoxification of xenobiotics by plants: chemical modification and vacuolar compartmentation. *Trends in Plant Science*, Vol. 2: 144-151.
- Colin, F., 2000.** Pollution localisée des sols et des sous-sols par les hydrocarbures et les solvants chlorés. Edition *Tec & Doc*. Rapport n° 44. Académie des sciences. *Paris*: 417.
- Colombano, S., Saada, A., Guerin, V., Bataillard, P., Bellenfant, G., Beranger, S., Hube, D., Blanc, C., Zornig, C., Girardeau, I., 2000.** Quelles techniques pour quels traitements, analyse coût bénéfiques (Rapport final BRGM1RP-58609-FR). *Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)*: 403.
- Come, J. M., Ducreux, J., 2001.** Dépollution par injection de tensioactifs d'un forage d'alimentation en eau potable contaminé par du fioul domestique. *L'eau, l'industrie, les nuisances*, Vol. 240: 41-47.
- Congo, M., 2012.** Etude des propriétés antiradicalaire et anti-proliférative d'extraits de feuilles et de rameaux de *Salvadora Persica L. (Salvadoraceae)*. Thèse de pharmacie. Université d'Ouagadougou *Burkina Faso*: 42.
- Corbineau, F., Côme, D., 1980.** Physiologie végétale : Quelques caractéristiques de la dormance du caryopse d'Orge, *Centre de Russie pour la science et la culture à Paris*, Vol. 294 (3): 967-970.
- Cornic, G., Fresneau, C., 2002.** Photosynthetic carbon reduction and carbon oxidation cycles are the main electron sinks for photosystem II activity during a mild drought. *Annals of Botany*, Vol. 89: 887-894.
- Costa, G., Michaut, J.C., Morel, J.L., 1994.** Influence of cadmium on water relations and gas changes in phosphorus deficient *Lupinus albus*. *Plant Physiology and Biochemistry*, Vol. 32 (1): 105-114.
- Cronquist, A., 1981.** An integrated system of classification of flowering plants. *Columbia University Press New York*: 248-250.
- Cruizia T.P., Tyree, M.T., 1990.** La montée de la sève dans les arbres, *La Recherche*, Vol. 21 (220): 406-414.
- Cunningham, S.D., Berti, W.R., Huang, J.W., 1995.** Phytoremediation of contaminated soils, *Trends in Biotechnology*, Vol.13 (9): 393-398.
- Dabouineau, L., Lamy, Y., Collas, P., 2005.** Phytoremédiation et phytorestauration ou l'utilisation des plantes pour la dépollution ou l'épuration des eaux usées. *Le Rôle d'eau*, Vol. 124: 8-15.
- Daniel-Kalio, L.A., Pepple, S.F., 2006.** Effect of bonny light crude oil pollution of soil on the growth of day flower (*Commelina benghalensis L.*) in the Niger Delta, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, Vol. 10: 111-114.
- David, M.M., Coelho, D., Bannote, I., Correira, M.J., 1998.** Leaf age effects on photosynthetic activity and sugar accumulation in droughted and rewatered *Lupinus albus* plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, Vol. 25: 299-306.
- David, J.C., Grongnet, J.F., 2001.** Les protéines de stress. *INRA Productions Animales*, Vol. 14 (1): 29-40.
- Dazy, M., 2008.** Caractérisation de la colonisation spontanée par les plantes de sols pollués Rôle des systèmes cellulaires de détoxification, thèse de doctorat, université de Metz –*Unité de Formation et de Recherche en Sciences Fondamentales et Appliquées*.
- De-Farias, V., Maranhão, L.T., De-Vasconcelos, E.C., Da-Silva Carvalho Filho, M.A., Lacerda, L.G., Azevedo, J.A.M., Pandey, A., Soccol, C.R., 2009.** Phytodegradation potential of *Erythrina*

- crista-galli* L., Fabaceae, in petroleum-contaminated soil. *Applied biochemistry and biotechnology*, Vol. 157: 10-22.
- Dechamp, C., Meerts, P., 2003.** La phytoremédiation : Panacée pour l'environnement ou menace pour la biodiversité, *Les Naturalistes belges*, Vol. 82: 135-148.
- DeJong, E., 1980.** The effect of crude oil spill on cereals. *Environmental Pollution*, Vol. 22: 187-196
- Denden, M., Bettaieb, T., Alef, S., Mathlouthi, M., 2005.** Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. *Tropicultura*, Vol. 23 (4): 220-225.
- Deniz, M., Duzenli, S., 2007.** The effect of refinery pollution on non-enzymatic foliar defense mechanisms in four evergreen plant species in Turkey. *Acta Physiologiae Plantarum*, Vol. 29:71-79.
- Díaz-Pérez, J.C., Shackel, K.A., Sutter, E.G., 1995.** Relative water content and water potential of tissue-cultured apple shoots under water deficits. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 46: 111-118.
- Dixon, R.A., Palva, N.L., 1995.** Stress induced phenyl-propanoid metabolism. *Plant cell*, Vol. 7: 1085-1097.
- Djanaguiraman, M., Sheeba, J.A., Shanker, A.K., Devi, D.D., Bangarusamy, U., 2006.** Rice can acclimate to lethal level of salinity by pretreatment with sublethal level of salinity through osmotic adjustment. *Plant and Soil*, Vol. 284: 363-373.
- Djerroudi-Zidane, O., Belkhodja, M., Bissati, S., Hadjadj, S., 2010.** Effet du stress salin sur l'accumulation de proline chez deux espèces d'*Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. *European Journal of Scientific Research*, Vol. 41 (2): 249-260.
- Dörfling, K., Askman, A., 1989.** Relationship between frost tolerance and formation of proline, abscisic acid and specific proteins in cold hardened winter wheat (*Triticum aestivum*) varieties. *XII Eucarpia Congress*.
- Dreier, W., 1978.** Possibilité d'une élaboration d'un test de présélection des variétés des plantes ayant une haute tolérance ou résistance aux sels, sur la base de la relation entre la teneur de proline des tissus végétaux et la résistance aux sels. *Journée d'études et de recherche agronomique* du 22-30 Mars, I.N.A. *El-Harrache*, Algérie.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., Smith, F., 1956.** Calorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, Vol. 28 (3): 350-356.
- Duh, P., 1999.** Antioxidant activity of water extract of four Harnng Jyur (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) varieties in soybean oil emulsion, *Food Chemistry*, Vol. 66: 471-476.
- Edema, N.E., Obadoni, B.O., Erheni, H., Osakwuni, U.E., 2009.** Eco-phytochemical studies of plants in a crude oil polluted terrestrial habitat located at Iwhrekan, Ughelli North local government area of Delta State. *International journal of science and nature*, Vol. 7 (9): 49-52.
- EFSA., 2008.** European Food Safety Authority, *Annual Report 2008*, ISBN number: 978-92-9199-095-5.
- Eliane-Cristina, G.V., Ivan, S., Marcos, P., Carlos, A.S., Hugo Bruno, C.M., Celso, J.M., Ellis, R.J., 2007.** The molecular chaperone concepts. *Journal of Cell Biology*, Vol. 1: 1-9.
- Ernez, M., Lannoye, R., 1991.** Quantification des désordres photosynthétiques chez la plante stressée : aspects conceptuels et méthodologiques, l'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. *John Libbey Eurotext. Paris*: 9-23.

- Evans, M., 1997.** Status of *in situ* phytoremediation technology. In: *Environmental Protection Agency (EPA). Recent Development for in situ Treatment of Metal Contaminated Soils: 23-32.* Washington, D.C., EPA.
- Faccendini, J.P., 1995.** Caractérisation d'une pollution des sols granulaires par des hydrocarbures issus de la pyrolyse de la houille. Thèse de doctorat. *Ecole nationale des ponts et chaussées*: 141.
- Farissi, M., Bouizgaren, A., Faghire, M., Bargaz, A., Ghoulam, C., 2011.** Agro-physiological responses of Moroccan alfalfa (*Medicago sativa* L.) populations to salt stress during germination and early seedling stages. *Seed Science and Technology*, Vol. 39: 389-401.
- Favier, A., 2006.** Stress oxydant et pathologies humaines. Mémoire d'Activités antioxydante et antimicrobienne d'extraits de *Rhamnus alaternus* L, *Annales pharmaceutiques françaises*, Vol. 64: 390-396.
- Federal Remediation Technologies Roundtable., 2008.** Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version 4. O. In FRTR (*Federal Remediation Technologies Roundtable*). <http://www.frtr.gov/matrix2/top-page.html>.
- Feillet, P., 2000.** Le grain de blé composition et utilisation. Ed. (INRA) *Institut national de la recherche agronomique, Paris*: 308.
- Fkih, S., 2007.** Etude de l'effet de l'irradiation ionisante sur certains polyphénols alimentaires et résidus pesticides. Thèse Universitaire de Technologie (D.U.T), *Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie, Carthage*.
- Fortier, J., 2008.** La phytoremédiation par les essences ligneuses à forte croissance : Une solution potentielle aux divers problèmes de pollution anthropique. (INFO-RLQ), *Réseau Ligniculture Québec*, Vol. 5 (7): 1-5.
- Fortmeier, R., Schubert, S., 1995.** Salt tolerance of maize (*Zea mays* L.): the role of sodium exclusion. *Plant, Cell and Environment*, Vol. 18: 1041-1047.
- Franaennec, J.P., Leprince, P., Trembouze, P., Edern, Y., 1998.** Le raffinage de pétrole. Pétrole brut - produit pétrolier - schéma de fabrication Tom 5. Technip. Fuel. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 66 (10): 4205-4210.
- Gabriel, C.J., 2008.** Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse foliaire : De l'utilisation expérimental des relations A/Ci et A/Cc: 4-5.
- Gallego, S.M., Benavides, M.P., Tomaro, M.L., 1996.** Effect of heavy metal ion excess on sunflower leaves: evidence for involvement of an oxidative stress. *Plant Science*, Vol. 121: 151-159.
- Gao, Y., Collins, C., 2009.** Uptake Pathways of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in White Clover. *Environmental Science & Technology*, Vol. 43: 6190-6195.
- Gaskin, S.E., Bentham, R.H., 2010.** Rhizoremediation of hydrocarbon contaminated soil using Australian native grasses. *Science of the Total Environment*, Vol. 408 (17): 3683-3688.
- Gaspero, J., 2006.** Introduction et transfert des hydrocarbures à différentes échelles spatiales dans le réseau d'assainissement parisien. Thèse de doctorat. *Ecole nationale des ponts et chaussées*. 251.
- Gatellier, C., Gaudin, C., Rogier, P., 1974.** Conséquence d'un déversement d'hydrocarbures dans le sol et techniques applicables à la réhabilitation, *XIII<sup>ème</sup> journée de l'hydrocarbure*, question VI, Rapport 2, Paris.
- Geigenberger, P., Reimholz, R., Geiger, M., Merlo, L., Canale, V., Stitt, M., 1997.** Resolution of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit. *Planta*, Vol. 201: 502-518.

- Ghasempour, H.R., Hojat-jalali, A.A., Rangin, A.R., 2007.** Physiological changes, proline, total protein, protein analysis and potassium of the sugar beet plants in response to beet cyst nematodes, *Heterodera schachtii*. *International Journal of Botany*: 1-6.
- Ghosh, M., Singh, S.P., 2005.** A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research*, Vol. 3 (1): 1-18.
- Giardi, M.T., Cona, A.B., Geiken, T., Kucera, J., Masojídek, A.K., Matto, O., 1996.** Longterm drought stress induces structural and functional reorganization of Photosystem II. *Planta*, Vol. 199: 118-125.
- Gogosz, A.M., Bona, C.B., Santos, G.O., Botosso, P.C., 2010.** Germination and initial growth of *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg. (Myrtaceae), in petroleum-contaminated soil and bioremediated soil. *Brazilian Journal of Biology*, Vol. 70 (4).
- Goswami, P., Singh, D.H., 1991.** Different modes of hydrocarbons up-take by two *Pseudomonas* species. *Biotechnology and bioengineering*, Vol. 37: 1-11.
- Gouvernement du Canada., 2008.** Phytoremediation In government of Canada. Bio Basics. <http://www.biobasics.gc.ca/english/view.asp?x=742>.
- Grattan, S.R., Grieve, C.M., 1999.** Salinity-mineral relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae journal*, Vol. 78: 127-157.
- Green, B.T., Wiberg, C.T., Woodruff, J.L., Miller, E.W., Poage, V.L., Childress, D.M., Feulner, J.A., Froshc, S.A., Runkel, J.A., Wanderscheid, D.M., Wierma, M.D., Yang, X., Choe, H.T., Mercurio, S.D., 1996.** Phytotoxicity observed in *Tradescantia* correlates with diesel fuel contamination in soil. *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 6: 313-321.
- Greenway, H., Munns, R., 1980.** Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, Vol. 31: 149-190.
- Greipsson, S., 2011.** Phytoremediation. *Nature Education Knowledge*, Vol. 3 (10): 7.
- Greweling, T., Peech, M.L., 1960.** Chemical Soil Test. *Agriculture Experiment Station*, Cornell University, Ithaca: 960.
- Guibet, J.C., 1997.** Carburants et moteurs : Technologie, énergie et environnement. *Edition technip*, Paris, Vol. 1: 21-70.
- Hajihashemi, S., Kiarostami, K., Enteshari, S., Sabbora, A., 2006.** The effects of salt stress and paclobutrazol on some physiological of two salt tolerant and salt sensitive cultivars of wheat. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, Vol. 9: 1370-1374.
- Hamza, M., 1980.** Action de différents régimes d'apport du chlorure de sodium sur la physiologie de deux légumineuses : *Phaseolus vulgaris* (sensible) et *Hedysarum carnosum* (tolérante). Relations hydriques et relations ioniques. Thèse d'état, *Université de Paris VII*: 252.
- Han, G., Cui, B.X., Zhang, X.X., Li, K.R., 2016.** The effects of petroleum-contaminated soil on photosynthesis of *Amorpha fruticosa* seedlings, *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 10 (13): 2383-2392.
- Hanson, A.D., Nelson, C.E., Everson E.H., 1977.** Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. *Crop Science*, Vol. 17: 720-726.
- Hare, P.D., Cress, W.A., 1997.** Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant, cell and environment*, Vol. 21: 535-553.

- Hassani, A., Dellal, A., Belkhodja, M., Kaid- Harche, M., 2008.** Effet de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum Vulgare* L.). *European Journal of scientific Research*, Vol. 23 (1): 61-69.
- Hebert, J., Bernard, J., 2013.** Bilan sur la gestion des terrains contaminés au 31 Décembre 2010. *Ministère du Développement Durable de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP)*: 31.
- Heckman, J.R., Angle, J.S., Chaney, R.L., 1987.** Residual effects of sewage sludge on soybean: II. Accumulation of heavy metals. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 16 (2): 113-117.
- Hellal, Z., 2011.** Contribution à l'étude des propriétés antibactériennes et antioxydantes de certaines huiles essentielles extraites des Citrus. Application sur la sardine (*Sardina pilchardus*). Mémoire de Magister. *Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou*: 31.
- Heller, R., 1990.** Abrégé de physiologie végétale. Tom 2. Development 4<sup>ème</sup> édition.
- Hellman, H., Funck, D., Rentsch, D., Frommer, W.B., 2000.** Hypersensitivity of an *Arabidopsis* sugar-signaling mute toward exogenous proline application. *Plant Physiology*, Vol. 122: 357-367.
- Henner, P., Schiavon, M., Druelle, V., Lichtfouse, E., 1999.** Phytotoxicity of ancient gaswork soils. Effect of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on plant germination. *Organic Geochemistry*, Vol. 30: 963-969.
- Hernandez, S., Deleu, C., Larher, F., 2000.** Accumulation de proline dans les tissus foliaires de tomate en réponse à la salinité. *Life Science*, Vol. 323: 551-557.
- Hester, M.W., Mendelsohn, I.A., 2000.** Long-term recovery of a Louisiana brackish marsh plant community from oil-spill impact: vegetation response and mitigation effects of marsh surface elevation. *Marine Environmental Research*, Vol. 49:339-347.
- Heyser, J.W., DeBruin, D., Kincaid, M., Johnson, R.Y., Rodriguez, M.M., Robinson, N.J., 1989.** An inhibition of NaCl-induced proline biosynthesis by exogenous proline halophytic *Distichlis spicata* suspension cultures. *Journal Of Experimental Botany*, Vol. 40: 225-232.
- Hichem, H., Mounir, D., Naceur, E.A., 2009.** Differential responses of two maize (*Zea mays* L.) varieties to salt stress: Changes on polyphenols composition of foliage and oxidative damages, *Industrial Crops and Products*, Vol. 30: 144-151.
- Hidaya, I., 2017.** Contribution à l'étude de l'extraction par solvant des aromatiques en vue de l'obtention des huiles lubrifiantes. Thèse de doctorat. *Université Kasdi Marbah Ouargla*: 78.
- Hikosaka, K., Ishikawa, K., Borjigidai, A., Muller, O., Onoda, Y., 2006.** Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *Journal Of Experimental Botany*, Vol. 57:291-302.
- Hireche, Y., 2006.** Réponse de la luzerne *Medicago sativa* (L) au stress hydrique et à la profondeur du semis. Thèse de Magister. *Université. EL Hadj Lakhdar. Batna*: 83.
- Hoagland, D.R., Arnon, D.I., 1938.** The water-culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station*, Vol. 347: 1-39.
- Hu, W.Y., 2000.** Carbohydrate deposition and partitioning in elongating leaves of wheat under saline soil conditions. *Australian Journal of Plant physiology*, Vol. 27: 370.
- Huang, D., Ou, B., Prior, R.L., 2005.** The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 53: 1841-1856.
- Huang, X.D., El-Alawi, Y., Gurska, J., Glick, B.R., Greenberg, B.M., 2005.** A multi-process phytoremediation system for decontamination of persistent total petroleum hydrocarbons (TPHs) from soils. *Microchemical Journal*, Vol. 81: 139-147.

- Huang, Y.C., Chang, Y.H., Shao, Y.Y., 2006.** Effects of genotype and treatment on the antioxidant activity of sweet potato in Taiwan, *Food Chemistry*, Vol. 98: 529-538.
- Hubac, C., Guerrier, D., 1972.** Etude de la composition en acides aminés de deux Carex : le *Carex stenophylla* wahl., très résistante à la sécheresse et le *Carex setifolia* godion, peu résistante. Effet d'un apport de proline exogène. *Oecologia plantarum*, Vol. 7 (2): 147-165.
- Hubac, C., Gurrier, D., Bousquet, U., 1986.** Effect of far-red light on malate and potassium contents in cotton leaves: Relation to drought resistance. *Physiologia Plantarum*, Vol. 66: 37-40.
- Hunt, G., Baker, E., 1980.** Phenolic constituents of tomato fruit cuticles. *Phytochemistry*, Vol. 19: 1415-1419.
- Hurkman, W.J., Tanaka, C.K., 1987.** The effect of salt on the pattern of protein synthesis in barley roots. *Plant Physiology*, Vol. 83: 517-524.
- Hussain, A., Skultety, L., Toman, R., 2001.** Structural analyses of the lypo-polysaccharide from *Chlamydomphila psittaci* strain 6BC and *Chlamydomphila pneumoniac* strain Rajaani 6. *Carbohydrate research*, Vol. 336: 213-223.
- Hussain, M., Farooq, M., Shehzad, M., Khan, M.B., Wahid, A., Shabir, G., 2012.** Evaluating the performance of elite sunflower hybrids under saline conditions, *International Journal of Agriculture and Biology*, Vol. 14: 131-135.
- Hutchins, S.R., Sewell, G.W., Kovacs, D.A., Smith, G.A., 1991.** Biodegradation of aromatic hydrocarbons by aquifer microorganisms under denitrifying conditions. *Environmental Science & Technology*, Vol. 25: 68-76.
- Hutchinson, S.L., Schwab, A.P., Banks, M.K., 2003.** Biodegradation of petroleum hydrocarbon in the rhizosphere. In: Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants (Eds SC McCutcheon and JL Schnoor), *John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ, USA*: 355-386.
- Inckot, R.C., De-Oliveira Santos, G., De-Souza, L.A, Bona, C., 2011.** Germination and development of *Mimosa pilulifera* in petroleum-contaminated soil and bioremediated soil. *Flora*, Vol. 206: 261-266.
- Institut National de Recherche et Sécurité (INRS), 2006.** France, Combustibles et Carburants Pétroliers, ED 989 *Aide-mémoire technique*: 7.
- Interstate Technology & Regulatory Cooperation Work Group (ITRC), 2009.** Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance Document. Washington, D. C, ITRC and Phytotechnologies Teams, *PHYTO-2*: 124.
- Jemal, F., Ghorbal, M.H., 2002.** Phytoremediation, *Revue H.T.E*, Vol. 122: 49-60.
- Jestin., 1992.** L'orge. In: A. Gallais and H. Bannerot. Amélioration des espèces végétales cultivées. Paris, *Institut National de la Recherche Agricole*: 55-70.
- Jones, D.L., Hodge, A., Kuzyakov, Y., 2004.** Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. *New Phytologist*, Vol. 163: 459-480.
- Kameli, A., Losel, D.M., 1995.** Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. *Journal of Plant Physiology*, Vol. 145: 363-366.
- Kauss, H., 1977.** Biochemistry of regulation. In North cote (Ed): *International Review of Biochemistry*, II: 119-139.
- Khadi-Mounnaye, M.M., 2006.** Effet de la salinité sur la proline et les glucides chez la fève *Vicia faba* L. Thèse de magistère, *Université d'Essenia, Oran*: 30-32.

- Khan, A.G., 2005.** Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, Vol. 18: 355-364.
- Kim, T.H., Bohmer, M., Hu, H., Nishimura, N., Schroeder, J.I., 2010.** Guard cell signal transduction network: advances in understanding abscisic acid, CO<sub>2</sub>, and Ca<sup>2+</sup> signaling. *Annual Review of Plant Biology*, Vol. 61: 561-591.
- Klamer, M., Baath, E., 1998.** Microbial community dynamics during composting of straw material studied using phospholipid fatty acid analysis FEMS. *Microbiology Ecology*, Vol. 27 (1): 9-20.
- Korade, D.L., Fulekar, M.H., 2009.** Effect of organic contaminants on seed germination of *Lolium multiflorum* in soil. *Biology and Medicine*, Vol. 1: 28-34.
- Kramer, U., 2005.** Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils. *Current Opinion in Biotechnology*, Vol. 16: 133-141.
- Ksouri, R., Megdich, W., Debez, A., Falleh, H., Grignon, C., Abdelly, C., 2007.** Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant Physiology and Biochemistry*, Vol. 45: 244-249.
- Kuboi, T., Noguchi, A., Yazaki, J., 1986.** Family-dependent cadmium accumulation characteristic in higher plants. *Plant and Soil*. Vol. 92: 405.
- Kuhn, W., Gambino, R., Al-Awadhi, N., Balba, M.T., Dragun, J., 1998.** Growth of tomato plants in soil contaminated with Kuwait crude oil. *Journal of Soil Contamination*, Vol. 7: 801-806.
- Kuzovkina, Y.A., Volk, T.A., 2009.** The characterization of willow (*Salix* L.) varieties for use in ecological engineering applications: Co-ordination of structure, function and autoecology. *Ecological Engineering*, Vol. 35: 1178-1189.
- Kvesitidze, G., 2006.** The ecological importance of plants for contaminated environments. Biochemical mechanisms of detoxification in higher plants, *Basis of phytoremediation*, Springer: 167-204.
- Lachman, J., Dudjak, J., Miholová, D., Kolihová, D., Pivec, V., 2005.** Effect of cadmium on flavonoid content in young barley (*Hordeum sativum* L.) plants. *Plant, Soil and Environment*, Vol. 51 (11): 513-516.
- Lacuesta, M., Gonzalez-Moro, B., Gonzalez-Murua, C., Munoz-Rueda, A., 1990.** Temporal study of the effect of phosphinothricin on the activity of glutamine synthetase, glutamate dehydrogenase and nitrate reductase in *Medicago sativa* L. *Plant Physiology*, Vol. 136: 410-414.
- Lane, S.D., Martin, E.S., Garrod, J.P., 1978.** Lead toxicity effect on indole-3-acetic-induced cell elongation. *Planta*, Vol. 144: 79-84.
- Lang, A., 1965.** Effects of some internal and external conditions on seed germination. Hand b. *der Pflanzen physiologie*, Vol.15 (2): 848-893.
- Lapina, I.P., Popov, B.A., 1984.** Effect of sodium chloride on the photosynthetic apparatus of tomatoes. *Fiziologiya Rastanii*, Vol. 17: 580-584.
- Lavallée, S., 2006.** Les terrains contaminés au Québec. Quels sont les risques pour les préteurs (Rapport Bourgogne n<sup>o</sup> 2006 BR-01). Cowans ville, *Editions Yvon Blais Inc*: 43.
- Leahy, J.G., Colwell, R.R., 1990.** Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 54: 305-315.
- Leck, M.A., Simpson, R.L., 1992.** Effect of oil on recruitment from the seed bank of two tidal fresh water. *Wetlands Ecology and Management*, Vol. 4: 223-231.
- Lefebvre, J., 1978.** Livre: Chimie des hydrocarbures, *Edition Technip*, Paris: 277.

- Lefi, E., Gulias, J., Cifre J., Ben Yones, M., Medrano, H., 2004.** Drought effects on the dynamics of leaf production and senescence in field-grown *Medicago arborea* and *Medicago citrina*. *Annals of Applied Biology*, Vol. 144: 176-196.
- Levignerou, A., Lopez, F., Varisuyt, G., Berthomien, P., Casse-Delbar, T., 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahier d'Agriculture*, Vol. 4: 263-273.
- Levitt, J., 1980.** Response of plant to environmental stresses. Vol II, water radiation, salt and others stresses, New York: *Academic Press*: 365-406.
- Li, C., Wang, W., Cao, Y., Tian, H., 2008.** Eco-toxicity of petroleum contaminated soil on the growth of soybean. *Journal of Northwest A and F University*, Vol. 36 (1): 116-120.
- Li, D.M., Nie, Y.X., Zhang, J., Yin, J.S., Li, Q., Wang, X.J., Bai, J.G., 2013.** Ferulic acid pretreatment enhances dehydration-stress tolerance of cucumber seedlings, *Biologia Plantarum*, Vol. 57: 711-717.
- Lichtenthaler, H.K., 1987.** Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic bio-membranes. *Methods in Enzymology*, Vol. 148: 350-380.
- Lignowski, E.M., Splittstoesser, W.E., 1971.** Arginine synthesis, proline synthesis and related process. In John and Thompson Editions: *The Biochemistry of plants*, Vol. 25: 225-229.
- Lin, Q., Mendelsohn, I.A., 1996.** A comparative investigation of the effects of south Louisiana crude oil on the vegetation of fresh, brackish and salt marshes. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 32: 202-209.
- Linden, G., Lorient D., 1994.** Biochimie agro-industrielle, valorisation alimentaire de la production agricole', Ed. *Masson S.A, Paris*: 367.
- Ludlow, M.M., Fisher, M.J., Wilson, J.R., 1985.** Stomatal adjustment to water deficits in three tropical legumes grown in controlled conditions and in the field-Austr. *Plant Physiology*, Vol. 12: 149.
- Luepromchai, E., Lertthamrongsak, W., Pinphanichakarn, P., Thaniyavarn, S., Pattaragulanit, K., Juntongjin, K., 2007.** Biodegradation of PAHs in petroleum contaminated soil using tamarind leaves as microbial inoculums. *Songklanakarinn Journal of Sciences and Technology*, Vol. 29: 515-527.
- Luhach, J., Chaudhry, S., 2012.** Effect of diesel fuel contamination on seed germination and growth of four agricultural crops, *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, Vol. 2 (4): 311-317.
- Luna, C.M., Gonzalez, C.A., Trippi, V.S., 1994.** Oxidative damage caused by excess of copper in oat leaves. *Plant and Cell Physiology*, Vol. 35: 11-15.
- Maataoui, B.S., Hmyene, A., Hilali, S., 2006.** Activités anti-radicalaires d'extraits de jus de fruits du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*). *Lebanese Science Journal*, Vol. 1: 3-8.
- Maggio, A., Miyazaki, S., Veronese, P., Fujita, T., Ibeas, J.I., Damsz, B., Narasimhan, M.L., Hasegawa, P.M., Joly, R.J., Bressan, R.A., 2002.** Does proline accumulation play an active role in stress-induced growth reduction? *The Plant Journal*, Vol. 31 (6): 699-712.
- Mahajan, S., Tuteja, N., 2005.** Cold salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, Vol. 44: 139-158.
- Maillard, M.N., Soum, M.H., Boivin, P., Berset, C., 1996.** Antioxidant activity of barley and malt: Relationship with phenolic content, *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie (Food Science & Technology)*, Vol. 29: 238-244.

- Maisuthisakul, P., Suttajit, M., Pongsawatmanit, R., 2007.** Assessment of phenolic content and free radical scavenging capacity of some Thai indigenous plant. *Food Chemistry*, Vol. 100: 1409-1418.
- Males, Z., Zuntar, I., Nigovic, B., Plazibat, M., Vundac, V., 2003.** Quantitative analysis of the polyphenols of the aerial parts of rock samphire (*Crithmum maritimum* L.). *Acta Pharmacologica*, Vol. 53: 139-144.
- Mansour, M., 2000.** Compared effects of sudden and progressive impositions of salt stress in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars. *Journal of plant physiology*, Vol. 154: 752.
- Mansour, M.M.F., 1996.** PhD Thesis. *University of Minnesota. St. Paul, MN, USA*: 245.
- Maranho, L.T., Galvao, F., Muniz, G.I.B., Kuniyoshi, Y.S., Preussler, K.H., 2006.** A size variation of tracheids in the stem of *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. Podocarpaceae. *Acta Botanica Brasilica*, Vol. 20 (3): 633-640.
- Maranho, L.T., Dziedzic, M., Muñoz, G.I.B., Kuniyoshi, Y.S., Galvão, F., 2009.** Effects of the pollution by petroleum on the tracheids along the stem of *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. Podocarpaceae. *Brazilian Journal of Biological*, Vol. 69 (2): 263-269.
- Marchal, R., Penet, S., Solano, F., Vandecasteele, J.P., 2003.** Gasoline and diesel oil biodegradation. Oil and gas science and technology. *Revue IFP, Editions Technip*, Vol. 58: 441-448.
- Maroti, M., Bognar, J., 1991.** Effect of toxic metals inhibiting the growth of plant callus tissues. *Acta Agronomica Hungaria*, Vol. 40: 39-47.
- Mastens, J., Davies, S.H.R., 1997.** Efficacy of *in-situ* ozonation for the remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons contaminated soils, *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 28: 327-335.
- Mathieu, C., Pieltain, F., 2003.** Analyse chimique des sols méthodes choisies. *Editions Tec et Doc/Lavoisier*, Paris: 408.
- Mazliak, P., 1982.** Physiologie Végétale : nutrition et métabolisme biochimique des cultures tropicales. *MERNION*: 59-60.
- Mbonigaba, J.J.M., Nzeyaimana, I., Bucagu, C., Culot, M., 2009.** Caractérisation physique, chimique et microbiologique de trois sols acides tropicaux du Rwanda sous jachères naturelles et contraintes à leur productivité. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, Vol. 13 (4): 545-558.
- Mc-Cray, J.E., Brusseau, M.L., 1998.** Cyclodextrin-enhanced *in-situ* flushing of multiple component immiscible organic liquid contamination at the field scale: mass removal effectiveness. *Environmental Science & Technology*, Vol. 32 (9): 1285-1293.
- McGrath, S.P., Zhao, F.J., Lombi, E., 2002.** Phytoremediation of metals, metalloids, and radionuclides. *Advances in Agronomy*, Vol. 75: 1-56.
- MEFI., 2000.** Ministère de l'économie des finances et de l'industrie. Lubrifiant et produits connexes pour l'automobile : Direction des affaires juridiques, Rapport annuel.
- Mefti, M., Abdelguerfi, A., Chebouti, A., 1998.** Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* L. *Gaertn Science*, Vol. 5: 173-176.
- Mehani, M., Bissati, S., Djeroudi, O., 2012.** Effect of sea water on two water parameters (turgescence and transpiration) of young plants of *Atriplex canescens*. *Journal of Materials and Environmental Science*, Vol. 3 (5): 840-845.
- Mehouachi, T., 1993.** Evaluation de la croissance et de l'activité écophysiological de la pomme de terre en relation avec le stress nutritif. RUG. Thèse de Doctorat. *Faculté des Sciences Agronomiques de Grand Belgique*: 204.

- Mench, M., Vangronsveld, J., Didier, V., Clijsters, H., 1994.** *Environmental Pollution*, Vol. 86: 279.
- Méndez-Natera, J.R., Roque, C., Zapata, K., OtaholaGómez, V., 2004.** Efecto de la concentración y tiempo de contaminación de un suelo por petróleo en la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Himeca 95. *Revista UDO Agrícola*, Vol. 4: 66-71.
- Merkl, N., Schultze-Kraft, R., Infante, C., 2004.** Phytoremediation in the tropics, the effect of crude oil on the growth of tropical plants. *Bioremediation Journal*, Vol. 8: 177-184.
- Merkl, N., Schultze-Kraft, R., Infante, C., 2005.** Assessment of tropical grasses and legumes for phytoremediation of petroleum-contaminated soils. *Water, Air and Soil Pollution*, Vol. 165: 195-209.
- Miller, N.J., Castellucio, C., Tijburg, L., Rice-Evans, C., 1996.** The antioxidant properties of the aflavins and their gallate esters - radical scavengers or metal chelators? (FEBS) *Federation of European Biochemical Societies Letters*, 392: 40-44.
- Minai-Tehrani, D., Tavakoli-Temah, A., Rashidfarokhi, A., Noormohammadi, A., Khodakarami, A., Talebi, M., 2012.** The effect of light crude oil contaminated soil on the growth and germination of *Sorghum bicolor*. In : Dobránszki J (Ed) *Sorghum. The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, Vol. 6 (1): 81-84.
- Mitsuya, S., Tanigochi, M., Miake, H and Takabe, T., 2006.** Over expression of RCI 2A decreases Na<sup>+</sup> uptake and mitigates salinity-induced damages in *Arabidopsis thaliana* plants. *Physiologia Plantarum*, Vol. 128 (1): 95-102.
- Molyneux, P., 2004.** The use of stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, Vol. 26 (2): 211-219.
- Monneveux, P., 1989.** Les céréales à paille : présentation générale in : amélioration des espèces végétales cultivées. Edition IRNA, *Institut Nationale de la Recherche Agricole Paris*, Vol. 13: 21.
- Monneveux, P., 1991.** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique dans la tolérance au déficit hydrique des céréales les outils d'amélioration des plantes par l'adaptation aux milieux arides. AUPELI'-UREF. *John Libbey Eurotesr*: 165-186.
- Monneveux, P., Nemmar, M., 1986.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, Vol. 6 (6): 583-590.
- Morgan, M., Condon, A.G., 1986.** Water use, grain yield and osmoregulation in wheat. *Australian Plant Physiology*, Vol. 13: 523-532.
- Morot-Gaudry, J.F., 1997.** Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Edition INRA, *Institut Nationale de la Recherche Agricole*, Paris: 75-90.
- Moustakas, M., Lanaras, T., Symeonidis, L., Karataglis, S., 1997.** "Growth and some photosynthetic characteristics of field grown *Avena sativa* under copper and lead stress." *Photosynthetica*, Vol. 30: 389-396.
- Muhammad, Z.I., Sehrish, K., Muhammad, S., 2016.** Effects of motor oil pollution on soil and seedling growth of *Parkinsonia aculeata* L. *Scientia Agriculturae*, Vol. 13 (3): 130-136.
- Munns, R., Termaat, A., 1986.** Whole Plant Responses to Salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, Vol. 13: 143-160.
- Munns, R., 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, Vol. 25: 239-250.

- Muthukumarasamy, M., Gupta, S.D., Pannerselvam, R., 2000.** Enhancement of peroxidase, polyphenol oxidase and superoxide dismutase activities by tridimefon in NaCl stressed *Raphanus sativus* L, *Biologia Plantarum*, Vol. 43: 317-320.
- Nanjo, F., Goto, K., Seto, R., Suzuki, M., Sakai, M., Hara, Y., 1996.** Scavenging effects of tea catechins and their derivatives on 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical. *Free Radical Biology and Medicine*, Vol. 21 (6): 895-902.
- Narziss, L., 1969.** The effect of germination factors on the completion of the malting process and the quality of malt, *Proc. EBC Congress, Interlaken*: 77-97.
- Navarro, J.M., Flores, P., Garrido, C., Martinez, V., 2006.** Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at ripening stages, as affected by salinity, *Food Chemistry*, Vol. 96: 66-73.
- Neff, J.M., 1979.** Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment, source, fate and biological effect. *Applied science, Essex, England*: 262.
- Negraia, G., 2010.** Impact écotoxicologique des hydrocarbures mono-aromatiques (HCM) dans l'environnement au Canada. Centre Universitaire De Formation En Environnement, *Université de Sherbrooke*: 99.
- Nouri, L., 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf), en condition de déficit hydrique. Thèse de Magistère en Biologie végétale *Université de Mentouri. Constantine*: 77.
- Ober, E.S., Sharp, R.E., 1994.** Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentiels. *Plant Physiology*, Vol. 105: 981-987.
- Odat, S., Alshammari, A.M., 2011.** Seasonal variations of soil heavy metal contaminants along urban roads: A case study from the city of Hail, Saudi Arabia. *Jordan Journal of Civil Engineering*, Vol. 5 (4): 581-591.
- OEPP., 2011.** Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes, Evaluation biologique des produits phytosanitaires. *Bulletin (2014)*, Vol. 44 (3): 265-273.
- Olson, P.E., Reardon, K.F., Pilon-Smits, E., 2003.** Ecology of rhizosphere bioremediation. In *Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants* (Eds SC McCutcheon and JL Schnoor), *John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ, USA*: 317-354.
- Ontod-Tshi-Tshi, D.S., Lepengue, A.N., M'batchi, B., 2013.** Effet de la toxicité manganifère sur les paramètres morphométriques de la roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.var. *sabdariffa*) au Gabon. *European Scientific Journal*, Vol. 9 (15): 255-264.
- Osborne, J.M., Fox, J.E.D., Mercer, S., 1993.** Germination response under elevated salinities of six semi-arid blue bush species (Western Australia). In: Lieth H. & Al Masoom A. (Eds), *Towards the Rational Use of High Salinity Plants*, Dordrecht: *Kluwer Academic Publishers*: 521.
- Osmond, C.B., 1994.** What is photo inhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. BIOS. *Scientific Publishers. Oxford*: 1-24.
- Osonubi-Oren, R., Werk, K.S., Schulze, E.D., Meyer, J., 1988.** Performance of two *Picea abies* (L) karst. Stands of different stages of decline. Xylem sap concentrations of magnesium, calcium, potassium and nitrogen. *Oecologia*, Vol. 77 (2): 1-6.
- Ottow, E., Brinker, M., Fritz, E., Teichmann, T., Kaiser, W., Brosche, M., Kangasjarvi, J., Jiang, X., Polle, A., 2005.** *Populus euphratica* displays apoplastic sodium accumulation, osmotic adjustment by decreases in calcium and soluble carbohydrates, and develops leaf succulence under salt stress. *Plant Physiology*, Vol. 139 (4): 1762-1772.

- Oudot, J., 1975.** Contribution à l'étude de la dégradation bactérienne des hydrocarbures. Produits et facteurs susceptibles de modifier la cinétique du phénomène, Thèse de doctorat, Faculté de sciences de la vie et de l'environnement, *Université de Dijon*.
- Padmaja, K., Passad, D.D.K., Prasad, A.R.K., 1990.** Inhibition of chlorophyll synthesis in *Phaseolus vulgaris* L. seedlings by cadmium acetate. *Photosynthetica*, Vol. 24: 399-405.
- Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y., 2007.** Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metal in Plants. *Water, Air and Soil Pollution*, Vol. 184: 105-126.
- Palma, K., Kermode, A.R., 2003.** Metabolism of hydrogen peroxide during reserve mobilization and programmed cell death of barley (*Hordeum vulgare* L.) aleurone layer cells. *Free Radical Biology and Medicine*, Vol. 35 (10): 1261-1270.
- Pandolfini, T., Gabrielli, R., Comparini, E., 1992.** Nickel toxicity and peroxydase activity in seedlings of *triticum aestivum* L. *Plant, Cell and Environment*, Vol. 15: 719-725.
- Paquin, R., 1977.** Effet de basses températures sur la résistance au gel de la luzerne (*Medicago media* Pers.) et son contenu en proline libre. *Physiologie Végétale*, Vol. 15 (4): 657-665.
- Pareek, A., Siugla, S.L.A., 1997.** Grover salt responsive proteins/genes in crop plants. In: Jaiwal, P.K., R.P. Singh and A. Gulati (eds), Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants. Oxford Publication Co., *University of Delhi, Dhaula Kuan, New Delhi, India*: 365-391.
- Parida, A.K., Das, A.B., Mitra, B., 2002.** NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins, and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in Hydroponic Cultures, *Journal of Plant Biology*, Vol. 45: 28-36.
- Parida, A.K., Das, A.B., Mitra, B., 2004.** Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. *Trees*, Vol. 18 (2):167-174.
- Pavel, L.V., Gavrilesco, M., 2008.** Overview of *ex-situ* decontamination techniques for soil cleanup. *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol. 7 (6): 815-834.
- Peer, W.A., Baxter, I.R., Richards, E.L., Freeman, J.L., Murphy, A.S., 2006.** Phytoremediation and hyper-accumulator plants. *Topics in Current Genetics*, Vol. 14: 299-340.
- Peng, S., Zhou, Q., Cai, Z., Zhang, Z., 2009.** Phytoremediation of petroleum contaminated soils by *Mirabilis Jalapa* L. in a greenhouse plot experiment. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 168: 1490-1496.
- Peng, Z., Lu, Q., Verma, D.P., 1996.** Reciprocal regulation of 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase and proline dehydrogenase genes control proline levels during and after osmotic stress in plants. *Molecular Genetics and Genomics*, Vol. 253: 334-341.
- Perchet, M., 2008.** Etude de bioremédiation des sédiments contaminés par des composés organiques nitrés persistants, le titre de docteur de l'institut national polytechnique de Toulouse. *Ecole doctorale : Sciences de la matière, spécialité : Sciences des Agroressources*: 104.
- Pesci, P., Beffagna, A., 1984.** Inhibiting effect of fusicoccin on abscisic acid induced proline accumulation in barley leaves. *Plant Science Letters*, Vol. 37: 7-12.
- Pilon-Smits, E., 2005.** Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, Vol. 56: 15-39.
- Platt, S.G., Anthony, G., 1981.** Ammonia accumulation and inhibition of photosynthesis in methionine sulfoximine treated spinach. *Plant Physiology*, Vol. 67: 509-513.
- Pokorny, J., Yanishlieva, N., Gordon, M.H., 2001.** Antioxidants in Food: Practical applications, *Woodhead Publishing Limited, Cambridge*: 3.
- Popovici, C., Saykova, I., Tylkowski, B., 2009.** Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de Génie Industriel*. Vol. 4: 25-39.

- Porra, R.J., 2002.** The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*, Vol. 73: 149-156.
- Posthuma, J., 1970.** The composition of petroleum. Rapport et Procès-verbaux des réunion du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer, Vol. 4: 7-16.
- Prasad, M.N.V., 2011.** Bioremediation, its applications to contaminated sites in India. New Delhi, Ministry of Environment and Forest. Government of India: 63.
- Proffitt, C.E., Devlin, D.J., Lindsey, M., 1995.** Effects of oil on mangrove seedlings grow under different environmental conditions. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 30: 788-793.
- R.A., 2017.** Raffinerie d'Arzew Oran Algérie. Certificat de qualité N° 17GO029. BAC: T223. 30/01/2017.
- Rabe, R., Kreeb, K.H., 1979.** Enzyme activities and chlorophyll and protein content in plants as indicator of air pollution. *Environnemental pollution*, Vol. 19: 119-137.
- Racine, C.H., 1994.** Long-term recovery of vegetation on two experimental crude oil spills in interior Alaska black spruce taiga. *Canadian Journal of Botany*, Vol. 72: 1171-1177.
- Raja, D., Ridha, L., 2014.** Effect of Olive mill waste water on the quantitative and qualitative performance of two varieties of barley crop (*Hordeum Vulgare*. L). *Journal of materials and environmental sciences*, Vol. 5 (3): 915-922.
- Ramade, F., 2003.** Eléments d'écologie fondamentale. 3<sup>ème</sup> édition: 690.
- Ramos, D.T., Maranhão, L.T., Godoi, A.F.L., Da-Silva Carvalho Filho, M.A., Lacerda, L.G., De-Vasconcelos, E.C., 2009.** Petroleum hydrocarbons rhizodegradation by *Sebastiania commersoniana* (Baill.) LBSM and DOWNS. *Water, Air and Soil Pollution Focus*, Vol. 9: 293-302.
- Rawat, M.S.M., Pant, G., Prasad, D., Joshi, R.K., Pande, C.B., 1998.** Plant growth inhibitors (Proanthocyanidins) from *Prunus armeniaca*, *Biochemical systematics and ecology*, Vol. 26: 13-23.
- Rayapati, P.J., Stewart, C.R., 1991.** Solubilization of proline dehydrogenase from maize (*Zea mays* L.) mitochondria. *Plant Physiology*, Vol. 95: 787-791.
- Reddy, M.P., Vora, A.B., 1986.** Salinity induced changes in pigment composition and chlorophyllase activity in wheat. *Indian Journal of Plant physiology*, Vol. 29:331-334.
- Reddy, P.S., Veeranjanyulu, K., 1991.** Proline metabolism in senescing leaves of horsgram (*Macrotyloma uniflorum* Lam.). *Journal of Plant Physiology*, Vol. 137: 381-383.
- Redondo-Gomez, S., Petenello, M.C., Feldman, S.R., 2014.** Growth, nutrient status, and photosynthetic response to diesel-contaminated soil of a cordgrass, *Spartina argentinensis*. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 79: 34-38.
- Reichman, S.M., 2002.** The responses of plants to metal toxicity: A review focusing on Copper, Manganese and Zinc. *The Australian Minerals and Energy Environment Foundation*: 157.
- Rengel, Z., 1992.** The role of calcium in salt toxicity. *Plant Cell and Environment*, Vol. 15: 625-632.
- Rhodes, D., Handa, S., 1989.** Amino acid metabolism in relation to osmotic adjustment in plant. Environmental stress in Plant: Biochemical and Physiological Mechanism, NATO AI series, Vol. G19 (JH Cherry ed) Springer, Berlin: 41-62.
- Ribéreau-Gayon, J., Peynaud, M., Ribéreau-Gayon, P., Sudraud, P., 1972.** Sciences et techniques du vin. Tome 1, Analyse et contrôle des vins. *Edition Dunod*, Paris: 671.
- Ribéreau-Gayon, P., 1968.** Les tannins, les composés phénoliques des végétaux. *Edition Dunod*, Paris: 173-201.

- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Bolwell, P.G., Bramley, P.M., Pridham, J.B., 1995.** The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids. *Free Radical Research*, Vol. 22: 375-383.
- Rouquerol, T., Amir, H., Amir, A., 1977.** Effet de l'épandage des résidus pétroliers de sols agricoles. *Revue d'écologie et de biologie du sol*: 156.
- Rugh, C.L., Wilde, H.D., Stack, N.M., Thompson, D.M., Summers, A.O., Meagher, R.B., 1996.** Mercuric ion reduction and resistance in transgenic *Arabidopsis thaliana* plants expressing a modified bacterial merA gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 93: 3182-3187.
- Saadollah, H., Ahmad, A., Seyed-Ali, M.M., Mohammed, F., 2005.** Evaluation of salt-tolerant genotypes of durum wheat derived from in vitro and field experiments, Elsevier, *Field Crops Research*, Vol. 91: 345-354.
- Safarnejad, A., 2008.** Morphological and biochemical responses to osmotic stress in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Pakistan Journal of Botany*, Vol. 40: 735-746.
- Salah, N., Miller, N.J., Paganga, G., Tijburg, L., Bolwell, G.P., Rice-Evans, C.A., 1995.** Polyphenolic flavanols as scavengers of aqueous phase radicals and as chain-breaking antioxidants. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, Vol. 32 (2): 339-346.
- Saliha, A., Louhichi, B., 2012.** Etude comparative de la réponse physiologique de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à l'infection par *Blumeria graminis* f.sp. tritici agent causal de l'oïdium. *Revue scientifique et technique*, Vol. 25: 82-87.
- Salisbury, F.B., Ross, C.W., 1992.** *Plant Physiology*. 4<sup>th</sup> Edition Wadsworth Inc California: 682.
- Salle, C., Debyser, J., 1976.** Formation des gisements de pétrole, étude des phénomènes géologique fondamentaux. *Technip*: 1.
- Salt, D.E., 1995.** Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plant. *Biotechnology*, Vol. 13: 468-474.
- Salt, D.E., Smith, R.D., Raskiu, I., 1998.** Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Vol. 49: 643-668.
- Samaras, Y., Bresson, R.A., Csonka, L.N., Garcia-Rios, M.G., Paino, D., Met-Rhodes, D., 1995.** Proline accumulation during drought and salinity. Environment and plant metabolism, flexibility and acclimation. *Oxford BIOS*, Vol. 161: 79-88.
- San Miguel, A., 2011.** Phytoremédiation des organochlorés : Etude mécanistique et fonctionnelle des capacités épuratrices du système plante-rhizosphère. Thèse de Doctorat, *Université de Grenoble*: 54.
- Sanchez, F.J., Manzanares, M.D.E., Andres, E.F., Tenorio, J.L., Schellenbaum, L., Sprenger, N., Schuepp, H., Wiemken, A., Boller, T., 1999.** Effects of drought, transgenic expression of a fructan synthesizing enzyme and of mycorrhizal symbiosis on growth and soluble carbohydrate pools in tobacco plants. *New phytologist*, Vol. 142: 67-77.
- Sanchez-Moreno, C., Larrauri Jose, A., Saura-Calixto, F., 1998.** A Procedure to Measure the anti-radical efficiency of polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 76 (2): 270-276.
- Sankar, B., Jaleel, C.A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Panneerselvam, R., 2007.** Drought-induced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* L. Moench. *Acta Botanica Croatica*, Vol. 61: 43-56.

- Saragoni, H., Poss, R., Marquette, J., Latrille, E., 1992.** Fertilisation et succession des cultures vivrières au sud du Togo: Synthèse d'une expérimentation de longue durée sur terres de barre. *L'Agronomie tropicale*, Vol. 46 (02): 107-120.
- Savouré, A., Jaoua, S., Hua XueJun., Ardiles, W., Van Montagu, M., Verbruggen, N., 1995.** Isolation, characterization, and chromosomal location of a gene encoding the DELTA 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase in *Arabidopsis thaliana*. *Federation of European Biochemical Societies (FEBS Letters)*, Vol. 372: 13-19.
- Sbartai, H., 2008.** Etude des effets du cadmium sur la tomate *Lycopersicon esculentum* L. essai *in vivo* et *in vitro*. Thèse de Doctorat : option Ecotoxicologie végétale. *Université Annaba*:115.
- Schulze, E.D., Beck, E., Buchmann, N., Clemens, S., Müller-Hohenstein, K., Scherer-Lorenzen, M., 2005.** Plant ecology. *Springer. Berlin*: 117-143.
- Scippa, G., Di-Michele, M., Onelli, N.E., Patrignani, G., Chiatante, D., Bray, E., 2004.** The histone-like protein H1-S and the response of tomato leaves to water deficit. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 55: 109.
- Scofield, T., Evans, J., Cook, M.G., Wardlow, I.F., 1988.** Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, Vol. 4: 785-797.
- Scow, K.M., 2003.** Rate of biodegradation, in: Lyman, W.J., Rosenblatt, W.F., (Eds.) *Handbook of Chemical Property Estimation Methods*, Washington DC, 1990: 960.
- Scriban, R., 1999.** Biotechnologie. 5<sup>ème</sup> édition. *Technique et Documentation. Lavoisier*, Vol. 5: 149-157.
- Seeman, J.R., Criteheey, C., 1985.** Effect of salt stress on the growth, ion content, *Phaseous vulgaris* L. *Planta*, Vol. 164: 151-162.
- Shabala, S.N., Shabala, A., Martynenko, B., Newman, I.A., 1998.** Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na<sup>+</sup> accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves: a comparative survey and prospects for screening. *Journal of Plant Physiology*, Vol. 25: 609-616.
- Shabala, S., Newman, I., Wilson, S., Clark, R., 2000.** Nutrient uptake patterns over the surface of germinating wheat seeds. *Australian Journal of Plant Physiology*, Vol. 27: 89-97.
- Sharifi, M., Sadeghi, Y., Akbarpour, M., 2007.** Germination and growth of six plant species on contaminated soil with spent oil. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Vol. 4: 463-470.
- Shimp, J.F., Tracy, J.C., Davis, L.C., Lee, E., Huang, W., Erickson, L.E., Schnoor, J.L., 1993.** Beneficial effects of plants in the remediation of soil and groundwater contaminated with organic materials. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol. 23: 41-77.
- Shraddha, S., Sarita, S., Rohit, S., Kavita, P., Kavita, B., 2004.** Translocation of metals and its effects in the tomato plants grow on various amendments of tannery waste: evidence for involvement of antioxydants. *Chemosphere*, Vol. 57: 91-99.
- Siakhène, N., 1984.** Effet du stress hydrique sur quelques espèces de luzerne annuelle. Mémoire d'ingénieur en Agronomie. *Institut National Agronomique, INA. El Harrach*: 90.
- Siciliano, S.O., Germida, J.J., 1998.** Mechanisms of phytoremediation: Biochemical and ecological interactions between plants and bacteria. *Environmental reviews*, Vol. 6: 65-79.
- Singh, B., Sharma, R., Garg, B., 2006.** Kinetics and molecular modeling of biologically active glutathione complexes with lead (II) ions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 84 (3): 593-600.

- Singh, P., Singh, U., Eggum, B., Kumar, K.A., Andrews, D.J., 1987.** Nutritional evaluation of high protein genotypes of pearl millet (*Pennisetum americanum* L. Leeke). *Journal of Sciences of Food and Agriculture*, Vol. 38: 41-48.
- Singh, T.B., Paleg, L.G., Aspinall, D., 1973.** Stress metabolism. Variations in response to water deficit in the barley plant. *Australian journal of biological sciences*, Vol. 26: 65-76.
- Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R.M., 1999.** Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Method in Enzymology*: 152-177.
- Slama, A., Bensalem, M., Bennaceur, M., Zid, E.D., 2005.** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Institut national de la recherche agronomique de Tunisie* (Inrat). *Université Elmanar, Tunisie*.
- Slayter, R., 1974.** The effect of internal water status on plant growth development and yield. In: plant responses to climatic factors. *Proceedings of the Uppsala Symposium*. UNESCO.
- Smith, H., 1973.** Regulatory mechanisms in the photocontrol of flavonoid biosynthesis. In: Milborrow, B.V., (Ed.), *Biosynthesis and its control in plants*. *Academic Press, New York*: 303-320.
- Smith, M.J., Flowers, T.H., Duncan, H.J., Alder, J., 2006.** Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on germination and subsequent growth of grasses and legumes in freshly contaminated soil and soil with aged PAHs residues. *Environment Pollution*, Vol. 141: 519-525.
- Soltani, M., 2004.** Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de doctorat, *Université de Paris 6*: 281-284.
- Soltani, A., Hajji, M., Grignon, C., 1990.** Recherche de facteurs limitant la nutrition minérale de l'orge en milieu salé. *Agronomie*, Vol. 10 (10): 857-866.
- Soltner, D., 2005.** Les grandes productions végétales. 20<sup>ème</sup>. *Edition CCTA*, Vol. 20: 140.
- Souilah, N., 2009 :** Diversité de 13 génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L) et de 13 génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L) : étude des caractères de production et d'adaptation. Thèse de Magister, *Université de Constantine*: 165.
- Stewart, C.R., Lee J.A., 1974.** The role of proline accumulation in halophytes. *Planta*, Vol. 120: 273-289.
- Stewart, C.R., Boggess, F., Aspinall, D., Paleg, I.G., 1977.** Inhibition of proline oxidation by water stress. *Plant Physiology*, Vol. 59: 930-932.
- Tabaeizadeh, Z., 1998.** Drought-induced responses in plant cells. *International Review of Cytology*, Vol. 182: 193-247.
- Tahri, E.H., Belabed, A., Sabki, K., 1998.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de la proline et chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Tricum durum*). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, Vol. 21: 81-87.
- Takemura, T., Hanagata, N., Sugihara, K., Baba, S., Karube, I., Dubinsky, Z., 2000.** Physiological and biochemical responses to salt stress in the mangrove *Bruguiera gymnorrhiza*. *Aquatic Botany*, Vol. 68: 15-28.
- Tall, M., Rosenthal, I., 1979.** Salt tolerance in *Simmondria chenensis*: water balance and accumulation of chloride sodium and proline under low and high salinity. *Annals of Botany*, Vol. 43: 701-708.
- Técher, D., 2011.** Réhabilitation de sols pollués par des HAP grâce aux bactéries associées à la rhizosphère de *Miscanthus giganteus*. *Université Paul Verlaine de Metz*: 307.

- Terry, N., Zayed, A.M., 1993.** Selenium volatilization by Plants. In : Selenium in the Environment. Frankenberger, W.T., and Benson, S., Marcel Dekker, Eds, *New York, USA*: 343.
- Thripathi, A.K., Tripathi, S., 1999.** Change in some physiological and biochemical characters in *Albizia lebbek* as bioindicateurs of heavy metal toxicity. *Journal of Environmental Biology*, Vol. 20 (2): 93-98.
- Tirado, J.L., Conejero, G., Robin, P., 1990.** Comparaison des activités glutamine synthétase, glutamate déshydrogénase et nitrate réductase chez *Glycine max.* Effet de l'obscurité sur la première feuille trifoliée. *Plant Physiology*, Vol. 28 (2): 251-257.
- Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984.** Petroleum formation and occurrence. *Springer, Berlin*: 1-13.
- Troll, W., Lindsley, J., 1955.** A photometric method for determination of proline. *Journal of Biological Chemistry*, Vol. 215: 655-660.
- Trudeau, H., 2012.** La phytoremédiation ou la décontamination du sol par les arbres : La recherche d'un encadrement juridique adapté. Communication orale. Conférence, 28 Novembre 2012: *Université de Sherbrooke*.
- Udomchalothorn, T., Manneprasobsuk, S., Bangyeekhum, E., Boon-Long, P., Chadchawan, S., 2009.** The role of the bifunctional enzyme, fructose-6-phosphate-2- kinase/fructose -6-biphosphatase, in carbon partitioning during salt stress and salt tolerance in Pike (*Orzo sativa* L.). *Plant Science*, Vol. 176: 334-341.
- United Nations Environment Program (UNEP), 2002.** Phytoremediation: an environmentally sound technology for pollution prevention, control and remediation. In UNEP. UNEP. Utilizing the Principe of protein - dye bridging. *Analytical Biochemistry*, Vol. 72: 248 -254.
- United States Environmental Protection Agency (EPA), 1999.** Phytoremediation resource guide. *Washington*: 56.
- United states Environmental Protection Agency (EPA), 2000.** Introduction to Phytoremediation. *Cincinnati, OH*: 104. (EPA/600/R-99/107).
- Van Huysen, T., Abd El-Ghany, S., Hale, K. L., LeDuc, D. L., Terry, N., Pilon-Smits, E., 2003.** Overexpression of cystathionine-γ-synthase enhances selenium volatilization in *Brassica juncea*. *Planta*, Vol. 218: 71-78.
- Vandecasteele, J.P., 2005.** Microbiologie pétrolière, *Edition Technip*. Vol. 2: 34.
- Vavrek, M.C., Campbell, W.J., 2002.** Contribution of seed banks to freshwater wetland vegetation recovery. *Louisiana Applied and Educational Oil Spill Research and Development Program, OSRADP. Technical Report Series*: 0-12.
- Vidali, M., 2001.** Bioremediation. An overview. *Pure and Applied Chemistry*, Vol.73: 1163-1172.
- Viégas, R.A., Silveira, J.A., 1999.** Ammonia assimilation and proline accumulation in young cashew plante during longter mescposure to nall-salinity. *Revista brasileira de fisiologia vegetal*, Vol. 11 (3): 153-159.
- Viet, P.T., 2010.** Pour moi, le goût du soja n'est pas une barrière à la consommation. Et pour vous ?" : Effet de la culture sur les croyances, attitudes et préférence vis-à-vis des produits à base de soja. Sociologie. *Université de Bourgogne. Français*: 32-33
- Vishnoi, S.R., Srivastava, P.N., 2008.** Phytoremediation: Green for environmental clean. In Processing of Taal 2007: *The 12<sup>th</sup> World Lake Conference*: 1016-1021.
- Viswanathan, P., Sriram, V., Yogeewaran, G., 2000.** Sensitive spectrophotometric assay for 3-hydroxysubstituted flavonoids, based on their binding with molybdenum, antiomony, or bismuth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 48: 2802-2806.

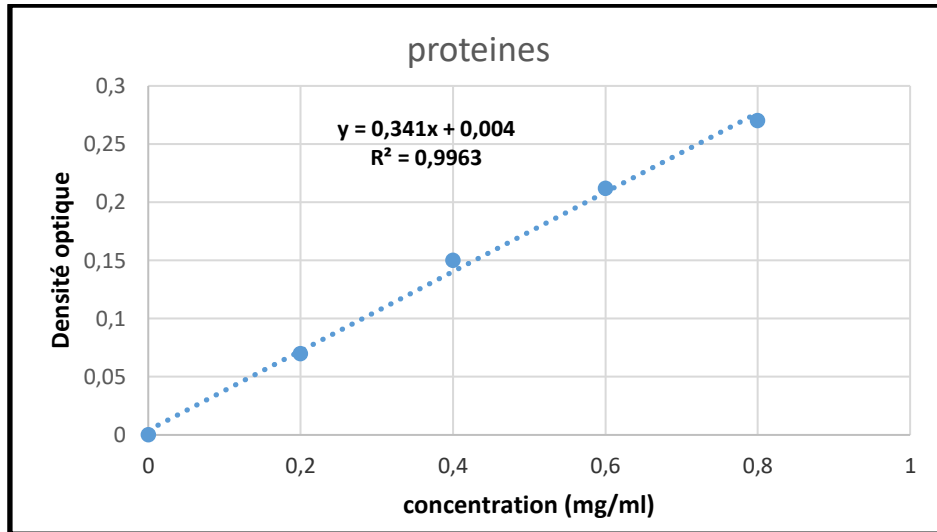
- Vogel, T.M., 2001.** Bioremédiation des sols. Technique de l'ingénieur. *Traité de génie de procédés*: 3982.
- Wwioko, D.E., Fashemi, D.S., 2005.** Growth response of *Ricinus communis* L. in spent lubricating oil polluted soil. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. Vol. 9 (2): 73-79.
- Wain, R.L., 1975.** Review Lecture; Some developments in research on plant growth inhibitors, *Proceedings of the Royal Society of London. Series B*, Vol. 191: 335-352.
- Wang, W., Vinocur, B., Altman, A., 2003.** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, Vol. 218: 1-14.
- Wang, W.X., Brak, T., Vinocur, B., Shoseyov, O., Altman, A., 2003.** Abiotic resistance and chaperones: possible physiological role of SP1, a stable and stabilizing protein from *Populus*. In: Vasil IK (ed), *Plant biotechnology 2000 and beyond*. Kluwer, Dordrecht: 439-443.
- Wang, Z., Luo, J., Gao, H., Wan, D., Ge, C., Luo, S., Yang, J., 2005.** Effects of 1,2,4-trichlorobenzene and naphthalene stress on photosynthetic characteristics of rice at heading period. *Science Agriculture Singapore*, Vol. 38 (6): 1113-1119.
- Wauquier, G.P., 1994.** Pétrole brut : Produits pétroliers, schémas de fabrication. *Edition Technip*: 478.
- Wauquier, J.P., Leprince, P., Trembouze, P., Favennec, J., Edern, Y., 1994.** Le raffinage de pétrole : exploitation des gisements de la raffinerie. Tome 5. *Edition Technip*: 23.
- Weisman, W.H., 1998.** Total petroleum hydrocarbon criteria working group Series Vol. 1: Analysis of petroleum hydrocarbons in environmental media. *Amherst Scientific Publishers. Massachusetts*: 23.
- West, C.C., Harwell, J.H., 1992.** Surfactants and subsurface remediation, *Environmental Science & Technology*, Vol. 36 (12): 2324-2330.
- Wyszkowska, J., Kucharski, J., Jastrzębska, E., Hlasko, A., 2001.** The biological properties of the soil as influenced by chromium contamination. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 10: 37-42.
- Wyszkowska, J., Kucharski, J., Waldowska, E., 2002.** The influence of diesel oil contamination on soil microorganisms and oat growth. *Rostlinná Výroba*, Vol. 48: 51-57.
- Wyszkowski, M., Ziolkowska, A., 2008.** Effect of petrol and diesel oil on content of organic carbon and mineral components in soil. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. Vol. 2 (1): 54-60.
- Xun, F., Xie, B., Liu, S., Guo, C., 2015.** Effect of plant growth-promoting bacteria (PGPR) and *Arbuscular mycorrhizal* fungi (AMF) inoculation on oats in saline-alkali soil contaminated by petroleum to enhance phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 22: 598-608.
- Yaacoub, R., 2009.** Impact nutritionnel et sanitaire de la torréfaction des fruits et graines oléagineux. Intérêt de la fluorescence comme outil de contrôle des composés néoformés. Thèse de doctorat. N° 2009AGPT 0048. *Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement*: 81.
- Yamasaki, S., Dillenburg, L.R., 1999.** Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Vol. 11 (2):69-75.
- Yeo, A., 1998.** Molecular biology of salt tolerance in the context of whole plant physiology, *Journal of Experimental Botany*, Vol. 49: 929.
- Ykhlef, N., Djekoun, A., 2000.** Adaptation photosynthétique et résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) : Analyse de la variabilité génotypique. In : Royo, C.,

- Nachit, M., Di Fonzo, N., Araus, J.L. Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. (*Options Méditerranéennes: Série Séminaires Méditerranéens*; n 40), Zaragoza: 327-330.
- Zappi, M.E., Rogers, B.A., Teeter, C.L., Gunnison, D., Bajpai, R., 1996.** Bioslurry treatment of a soil contaminated with low concentrations of total petroleum hydrocarbons. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 46: 1-12.
- Zeghida, A., Amrani, R., Djennadi, F., Ameroun, R., Khldoun, A.A., Belloucif, M., 2004.** Etude de la variabilité de réponse des plantules de blé dur (*Triticum durum* Desf) à la salinité. Céréaliculture. *Institut Technique des Grandes Cultures*.42, Constantine: 5.
- Zerrad, W., Hillali, S., Mataoui, B., El-Antri, S., Hmyene, A., 2006.** Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. Biochimie, Substances naturelles et environnement. *Congrès international de biochimie. Agadir*: 371-376.
- Zhang, J., Nguyen, H.T., Blum, A., 1999.** Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 50: 291-302.
- Zhu, J.K., 2002.** Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology*, Vol. 53: 247-273.
- Zid, E., Grignon, C., 1991.** Tests de sélection précoce et résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique, L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux aride. *Edition AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris*: 91-108.
- Zobel, A.M., Brown, S.A., 1995.** Coumarins in the interactions between the plant and its environment, *Allelopathy Journal*, Vol. 462 (1): 9-20.

## Annexes

**Annexe 01. Courbes d'étalonnage / Tableaux de références des sols / Planches et Photos de l'expérimentation / Corrélation entre les paramètres étudiés****1. Courbe d'étalonnage des Protéines Totales**

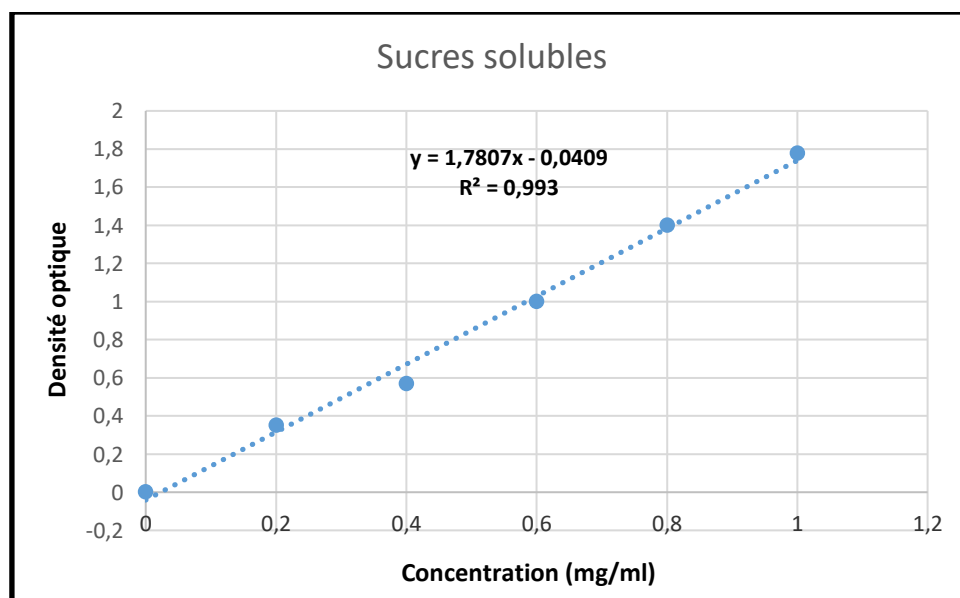
La méthode retenue pour le dosage des protéines totales est celle de **Bradford (1976)** qui utilise le BSA (Sérum d'Albumine de Bovin) comme standard.



**Figure I :** Courbe d'étalonnage des protéines par l'utilisation du sérum bovin albumine.

**2. Courbe d'étalonnage des Sucres Solubles**

Les sucres solubles totaux (glucose, fructose, saccharose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode de **Dubois et al., 1956** par l'utilisation du glucose comme standard.



**Figure II :** Courbe d'étalonnage des sucres solubles par l'utilisation du glucose.

### 3. Courbe d'étalonnage de la Proline

La proline est quantifiée selon la technique de **Troll et Lindsley (1955)** simplifier et mise au point par **Dreier (1978)** et modifier par **Monneveux et Nemmar (1986)**.

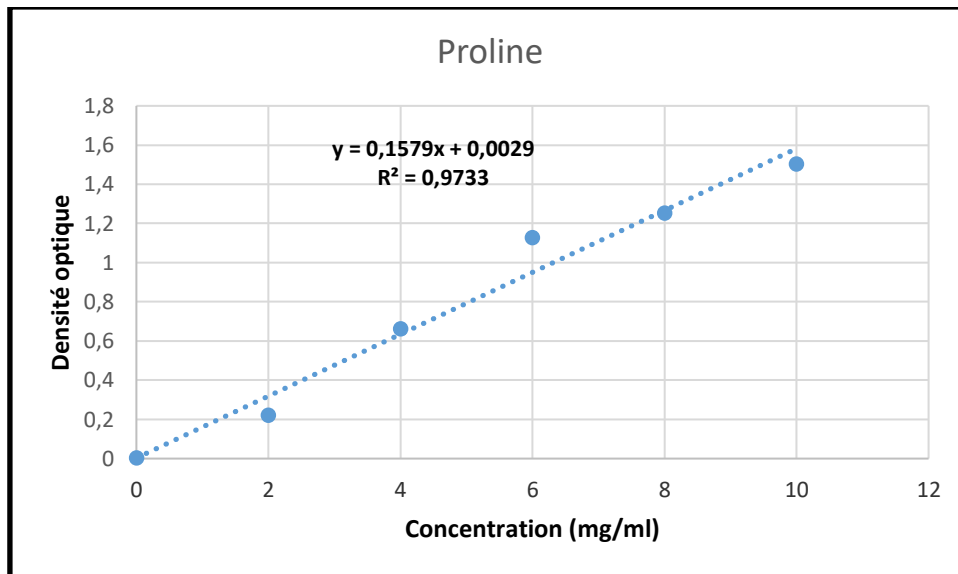


Figure III : Courbe d'étalonnage de la proline.

### 4. Courbe d'étalonnage des Polyphénols Totaux

Le dosage des composés phénoliques totaux dans les différents extraits a été réalisé par la méthode de Folin Ciocalteu (**Singleton et al., 1999**) par l'utilisation de l'acide gallique comme standard.

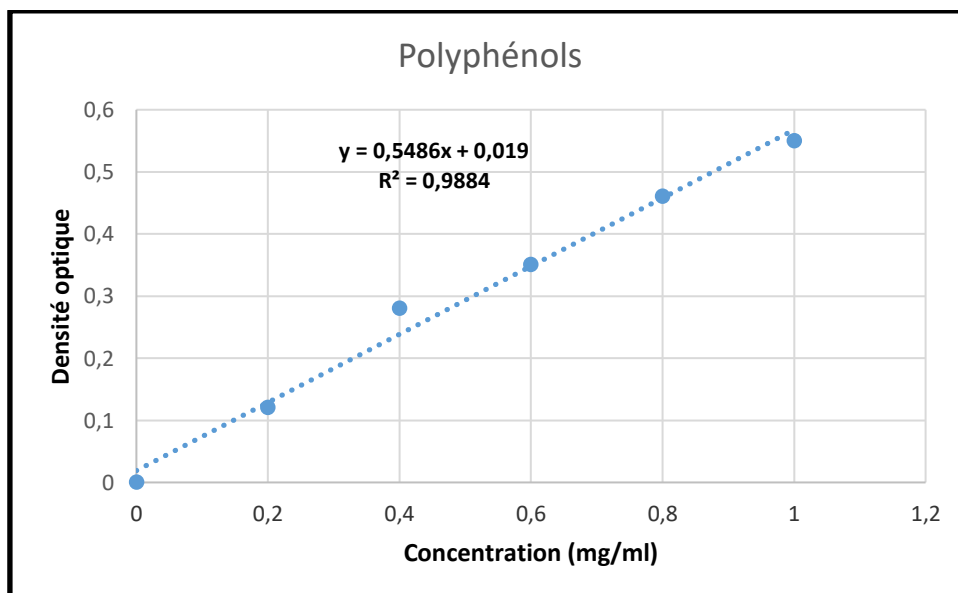
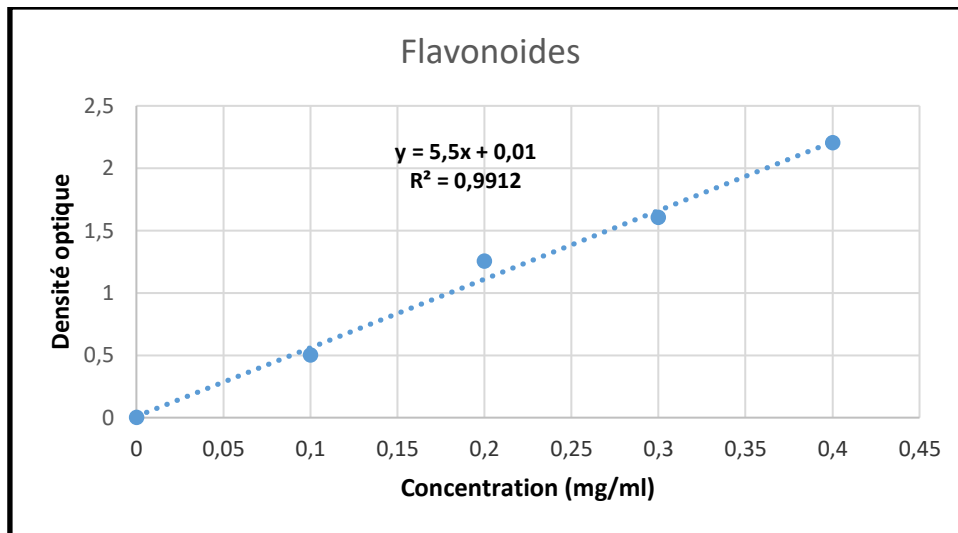


Figure IV : Courbe d'étalonnage des polyphénols par l'utilisation de l'acide gallique.

### 5. Courbe d'étalonnage des Flavonoïdes

L'estimation de la teneur en flavonoïdes totaux a été réalisée par la méthode de **Bahroun *et al.*, 1996** par l'utilisation de quercétine comme standard.



**Figure V** : Courbe d'étalonnage des flavonoïdes par l'utilisation de quercétine.

**6. Tableaux de références pour l'étude du sol basés sur USDA (US Department of Agriculture)****Tableau I.** Classes du pH du sol

Valeur du pH	Statut Acido-Basique du sol
$\text{pH} \leq 5,5$	Très acide
$5,5 < \text{pH} \leq 6,0$	Acide
$6,0 < \text{pH} \leq 6,5$	Peu acide
$6,5 < \text{pH} \leq 7,0$	Neutre
$7,0 < \text{pH} \leq 7,5$	Peu alcalin
$\text{pH} > 7,5$	Alcalin

**Tableau II.** Classe de la salinité (CE) du sol

Classe	Conductivité de l'extrait de sol saturé (dS/m)
Non salin	0 - 2
Légèrement salin	2 - 4
Modérément salin	4 - 8
Fortement salin	8 - 16
Très fortement salin	> 16

**Tableau III.** Classes de la capacité d'échange cationique (CEC) dans le sol

Valeur de la CEC méq/100 g	Interprétation
$\text{CEC} < 9$	Faible CEC
$9 \leq \text{CEC} \leq 12$	CEC moyenne
$12 < \text{CEC} \leq 15$	CEC assez élevée
$15 < \text{CEC} \leq 25$	CEC élevée
$\text{CEC} > 25$	CEC très élevée

**Tableau IV.** Classes de la matière organique (MO) dans le sol

Taux de matière organique en (%)	Interprétation
$\text{MO} < 1$	Très pauvre
$1 < \text{MO} \leq 2$	Pauvre
$2 < \text{MO} \leq 3$	Moyenne
$\text{MO} > 4$	Riche

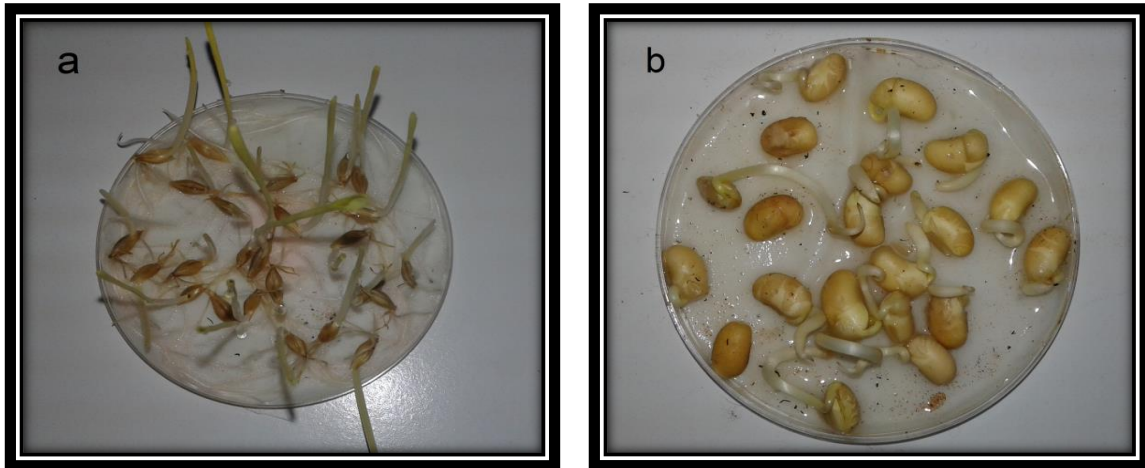
**Tableau V.** Classes du calcaire dans le sol

Taux De $\text{CaCO}_3$ total à l'analyse	Qualification Du Sol
$\text{CaCO}_3 \leq 5\%$	Sol Non Calcaire
$5 < \text{CaCO}_3 \leq 12,5\%$	Sol Faiblement Calcaire
$12,5 < \text{CaCO}_3 \leq 25\%$	Sol Modérément Calcaire
$25 < \text{CaCO}_3 \leq 50\%$	Sol Fortement Calcaire
$\text{CaCO}_3 > 50\%$	Sol Très Fortement Calcaire

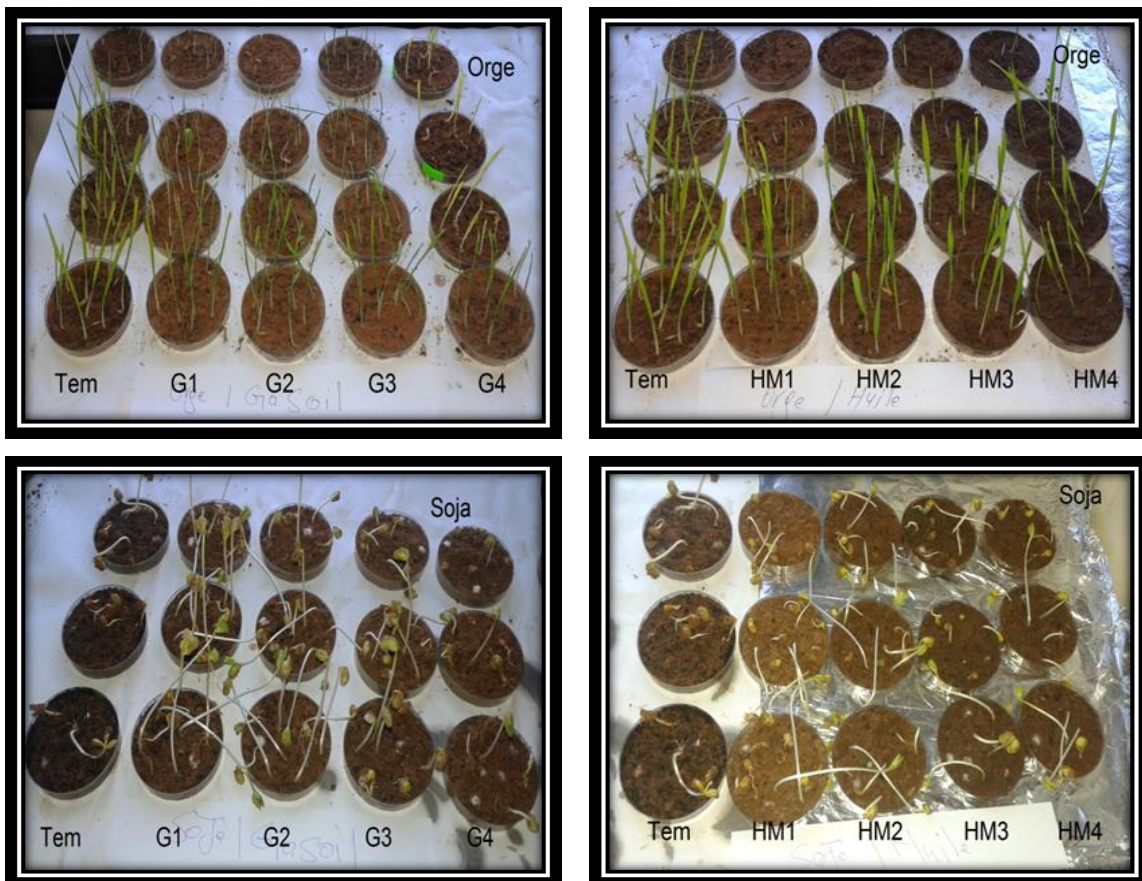
**Tableau VI.** Classes texturales du sol

Texture du sol	Sable	Limon (silt)	Argile	Classe texturale
<b>Sol sableux</b> (Texture grossière)	86 – 100	00 – 14	00 – 10	Sable
	70 – 86	00 – 30	00 – 15	Sable limoneux
<b>Sol limoneux (modérément grossière)</b>	50 – 70	00 – 50	00 – 20	Limon sableux
<b>Sol limoneux</b> (Texture moyenne)	23 – 52	28 – 50	07 – 27	Limon
	20 – 50	74 – 88	00 – 27	Limon silteux
	00 – 20	88 – 100	00 – 12	Limon très fin (silt)
<b>Sol limoneux (modérément fine)</b>	20 – 45	15 – 52	27 – 40	Limon argileux
	45 – 80	00 – 28	20 – 35	Limon sablo-argileux
	00 – 20	40 – 73	27 – 40	Limon silto-argileux
<b>Sol argileux</b> (Texture fine)	45 – 65	00 – 20	35 – 55	Argile sableuse
	00 – 20	40 – 60	40 – 60	Argile silteuse
	00 – 45	00 – 40	40 – 100	Argile

## 7. Planches et Photos de l'expérimentation



**Planche 01.** Les graines de (a : orge et b : soja) après une pré-germination de 04 jours à 25 °C.



**Planche 02.** Les plantules de l'orge et soja après 08 jours de germination sous stress



Planche 03. Les plantes de l'orge et soja après 02 semaines de stress.

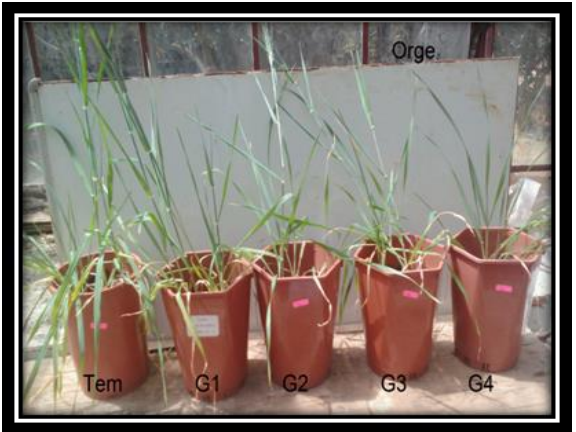


Planche 04. Les plantes de l'orge et soja avant la récolte



Planche 05. La longueur aérienne, racinaire et totale après la récolte

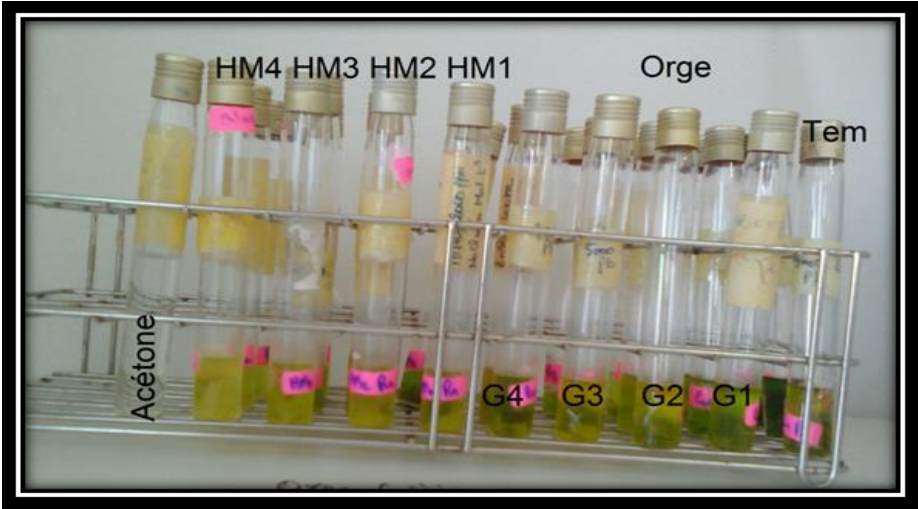


Planche 06. Dosage de pigments chlorophylliens

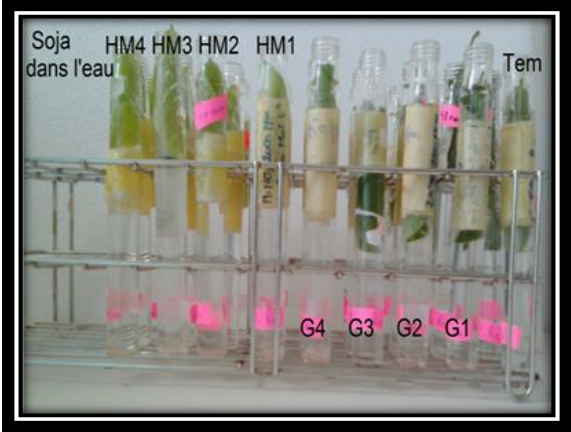
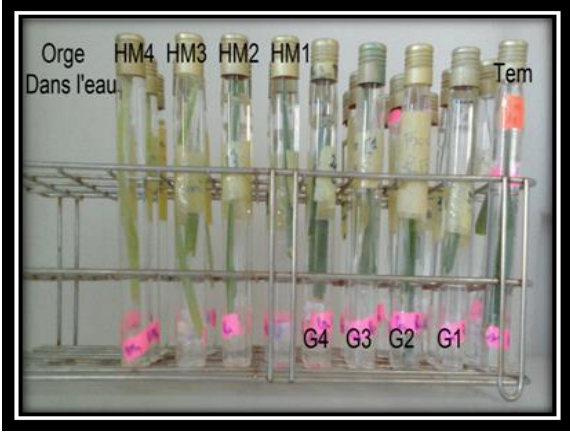


Planche 07. Calcul du RWC et RWL de l'orge et soja

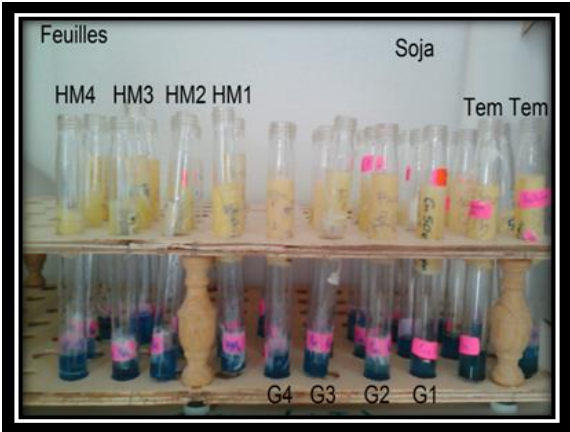
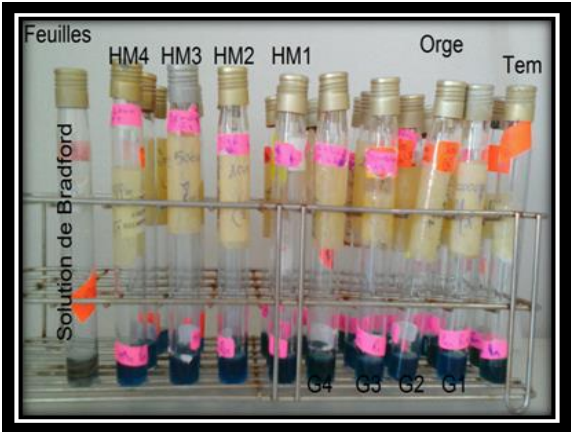


Planche 08. Dosage des protéines totales

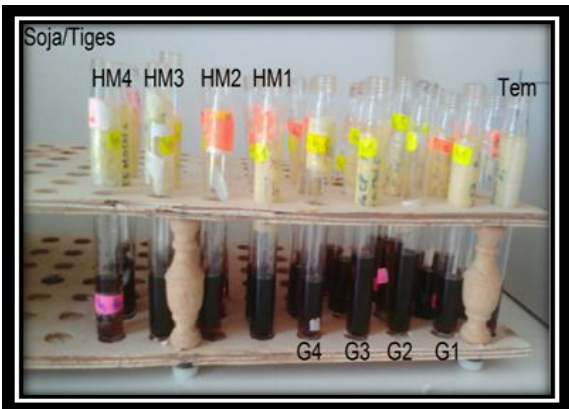
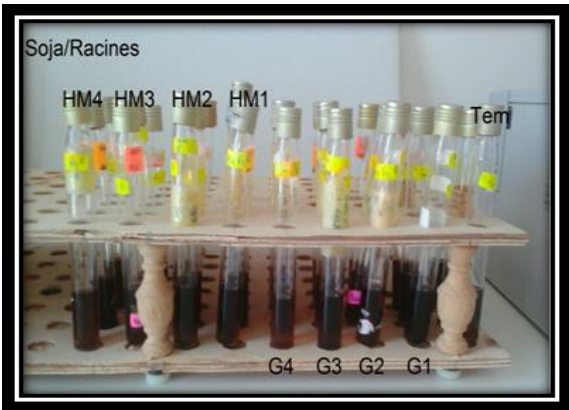
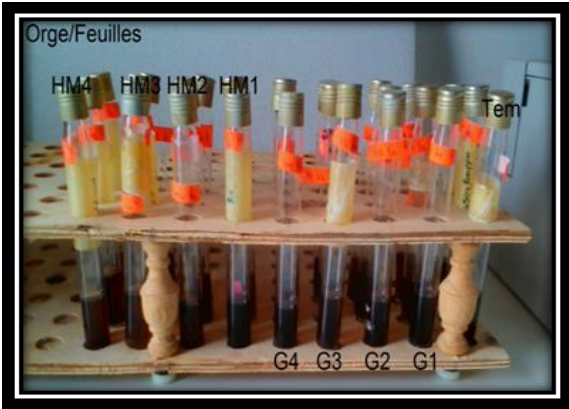


Planche 09. Dosage des sucres solubles totaux

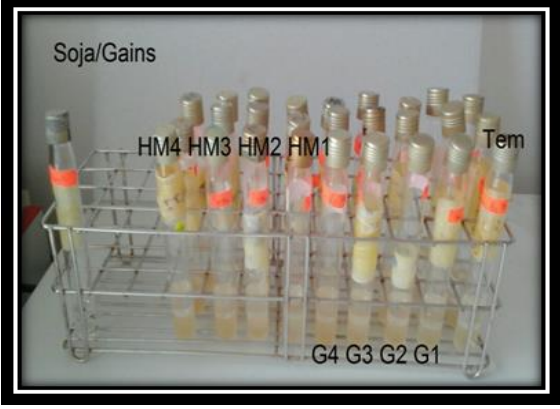
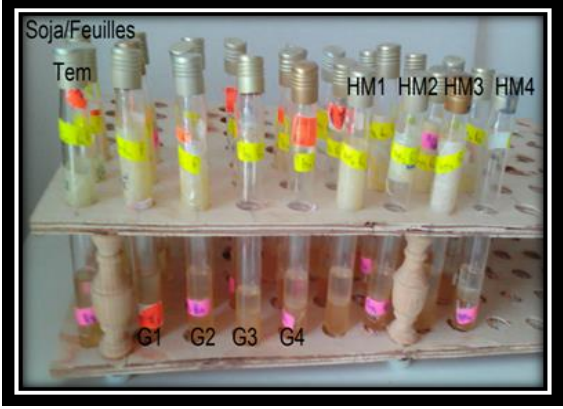
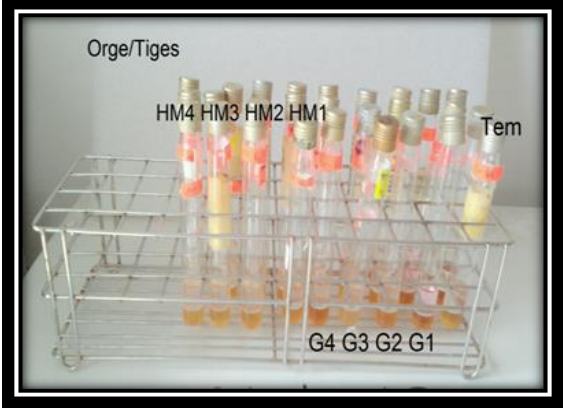
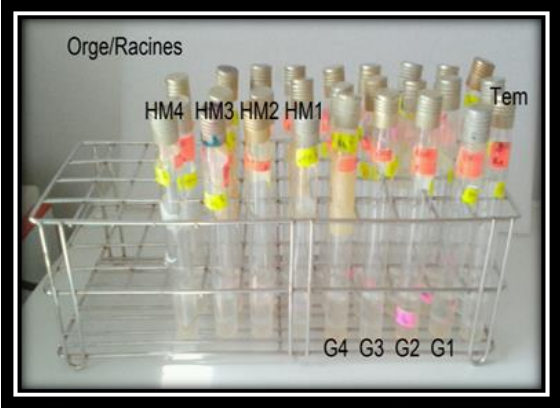


Planche 10. Dosage de la proline



Planche 11. Dosage des polyphénols totaux

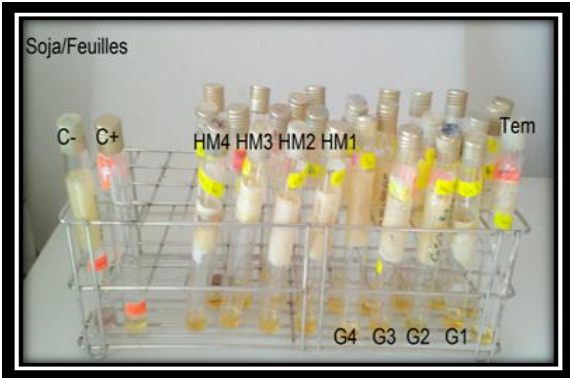
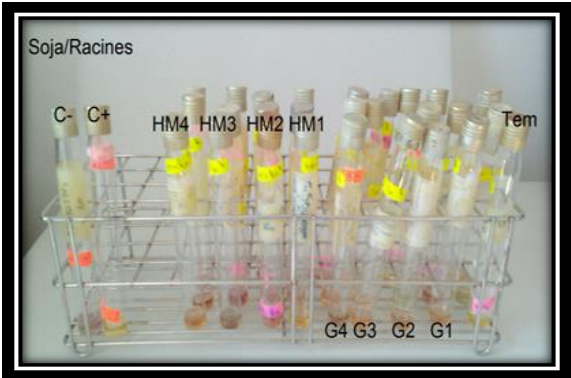


Planche 12. Dosage de l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH

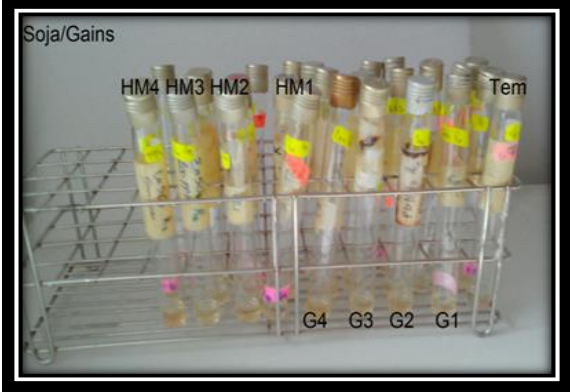


Planche 13. Dosage des flavonoïdes

**Tableau VII : Corrélation entre les paramètres de l'orge et le soja sous l'effet du gasoil et l'huile**

Les paramètres	L'orge		Le soja	
	(G)	(HM)	(G)	(HM)
<b>Cinétique de longueur</b>	Dim	Dim (ef +)	Dim	Dim (ef +)
<b>Cinétique de nbre de feuilles</b>	Dim	Dim (ef +)	Dim	Dim (ef +)
<b>Cinétique de nbre de tiges</b>	Dim	Dim (ef +)	/	/
<b>Surface foliaire</b>	Per (↓ tém) (NS)	Per (↓ tém) (S) Ef+	Dim (S)	Dim (S)
<b>Longueur aérien</b>	Dim (S)	Dim (S) E+	Dim (S)	Dim (S) E+
<b>Longueur racinaire</b>	Dim (S)	Dim (S) E+	Dim (S)	Dim (S) E+
<b>Longueur finale</b>	Dim (S)	Dim (S) E+	Dim (S)	Dim (S) E+
<b>Poids frais aérien</b>	Dim (S)	Dim (S) E+	Dim (S)	Dim (S) E+
<b>Poids frais racinaire</b>	Dim (S) E+	Dim (S)	Dim (S)	Dim (S) E+
<b>Poids frais finale</b>	Dim (S)	Dim (S) E+	Dim (S)	Dim (S) E+
<b>Poids sec aérien</b>	Dim (S)	Dim (S) E+	Dim (S)	Dim (S) E+
<b>Poids sec racinaire</b>	Dim (S) E+	Dim (S)	Dim (S) E+	Dim (S)
<b>Poids sec finale</b>	Dim (S)	Dim (S) E+	Dim (S)	Dim (S) E+
<b>Nbre de fruits (ou épis)</b>	Dim (NS)	Dim (NS)	Dim (S)	Dim (S)
<b>RWC</b>	Aug (S)	Aug (NS)	Ag↑ t NS	Dm (NS)
<b>RWL30</b>	Per (NS)	Per (NS)	Aug (NS)	Aug (S)
<b>RWL60</b>	Per (NS)	Aug (NS)	Aug (S)	Aug (S)
<b>RWL120</b>	Per (NS)	Aug (NS)	Aug (S)	Aug (S)
<b>MS (feuille)</b>	Per (NS)	Dim (S)	Dim (S)	Dim (S)
<b>MS (Par aérienne)</b>	Per (S)	Dim (NS)	Dim (S)	Per (S)
<b>MS (Par racinaire)</b>	Per (NS)	Aug (S)	Per (S)	Per (S)
<b>MS (Plnt totale)</b>	Per (S)	Dim (S)	Per (S)	Dim (S)
<b>(DHS)</b>	Dim (S)	Dim (S)	Dm↑ t (NS)	Aug (NS)
<b>Chl A</b>	Dim (S)	Dim (S)	Per (S)	Dim (S)
<b>Chl B</b>	Dim (S)	Dim (S)	Per (NS)	Dim (S)
<b>Chl totale</b>	Dim (S)	Dim (S)	Per (S)	Dim (S)
<b>Carot/xant</b>	Dim (S)	Dim (S)	Per (S)	Dim (S)

Les paramètres	L'orge		Le soja	
	(G)	(HM)	(G)	(HM)
Protéines (Racines)	Dim (S)	Dim (S)	Aug (S)	Aug (S)
Protéines (feuilles)	Dim (S)	Dim (S)	Dim (S)	Dim (S)
Sucres (racines)	Dim (S)	Dim (S)	Dim (S)	Pert (S)
Sucres (feuilles)	Dim (S)	Dim (S)	Pert (S)	Pert (S)
Sucres (gains)	Dim (S)	Dim (S)	Aug (S)	Per (NS)
Sucres (tiges)	Aug (S)	Aug (S)	Dim (S)	Aug (S)
Proline (racines)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (S)
Proline (feuilles)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (S)
Proline (gains)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (S)
Proline (tiges)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (S)
Polyphénols (racines)	Dim (S)	Dim (S)	Aug (S)	Aug (S)
Polyphénols (feuilles)	Aug (NS)	Aug (NS)	Aug (S)	Aug (S)
Polyphénols (gains)	Pert (S)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (S)
Polyphénols (tiges)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (S)
Flavonoïdes (racines)	Pert NS	Pert NS	Aug (S)	Aug (S)
Flavonoïdes (feuilles)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (S)
Flavonoïdes (gains)	Aug (NS)	Aug (S)	Aug (S)	Aug (NS)
Flavonoïdes (tiges)	Aug (S)	Aug (NS)	Dim (S)	Dim (S)
DPPH (racines)	Dim (S)	Dim (S)	Aug (S)	Aug (S)
DPPH (feuilles)	Dim (S)	Dim (S)	Aug (S)	Aug (S)
DPPH (gains)	Pert (NS)	Aug (NS)	/	/
DPPH (tiges)	Aug (NS)	Aug (S)	/	/

Dim : Diminution / Aug : Augmentation / Pert : Perturbation

**Traitements statistiques : link of folder :**

[https://www.mediafire.com/file/ug46iu95bjt015r/Annexe\\_de\\_L%27Etude\\_du\\_r%F4le\\_de\\_quelques\\_plantes\\_gramin%E9es\\_et\\_l%E9gumineuses\\_dans\\_la\\_phytor%E9m%E9diation\\_des\\_sols\\_pollu%E9s\\_par\\_les\\_hydrocarbures.rar/file](https://www.mediafire.com/file/ug46iu95bjt015r/Annexe_de_L%27Etude_du_r%F4le_de_quelques_plantes_gramin%E9es_et_l%E9gumineuses_dans_la_phytor%E9m%E9diation_des_sols_pollu%E9s_par_les_hydrocarbures.rar/file)

**Password : MORTET**

**Annexe 02 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Taux de germination final »**

**Tableau 01 : Analyse de la variance du taux de germination des graines de l'orge stressées au gasoil**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Taux de germination (%)	96,66±5,77	96,66±5,77	93,333±5,77	93,333±5,77	80±10		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1040	14	74,286				
VAR.FACTEUR 1	573,333	4	143,333	3,071	0,06819		
VAR.RESIDUELLE 1	466,667	10	46,667			6,831	7,43%
Test non significatif							

**Tableau 02 : Analyse de la variance du taux de germination des graines de l'orge stressées à l'huile**

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Taux de germination (%)	96,66±5,77	90±17,32	90±10	66,66±13,09	80±0		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3573,333	14	255,238				
VAR.FACTEUR 1	1640	4	410	2,121	0,15231		
VAR.RESIDUELLE 1	1933,333	10	193,333			13,904	16,42%
Test non significatif							

**Tableau 03 : Analyse de la variance du taux de germination des graines du soja stressées au gasoil**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Taux de germination (%)	63,33±5,77	86,66±7,27	93,33±5,77	83,33±5,77	60±10		
Comparaison des moyennes	B	A	A	A	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3493,333	14	249,524				
VAR.FACTEUR 1	2626,667	4	656,667	7,577	0,00471		
VAR.RESIDUELLE 1	866,667	10	86,667			9,309	12,04%
Test significatif							

**Tableau 04 :** Analyse de la variance du taux de germination des graines du soja stressées à l'huile

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Taux de germination (%)	63,33±5,77	70±16,45	73,33±5,77	60±10	50±0		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2733,333	14	195,238				
VAR.FACTEUR 1	1000	4	250	1,442	0,29002		
VAR.RESIDUELLE 1	1733,333	10	173,333			13,166	20,79%
Test non significatif							

**Annexe 03 :** Traitements statistiques de la variance des résultats du paramètre « **Cinétique de germination** » des graines de l'orge *Hordeum vulgare* stressées au gasoil.

**Tableau 05 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 01) des graines de l'orge stressées au gasoil

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cinétique (Jour 1)	1,33±0,57	1,33±1,15	1±1	0,66±0,57	0±0		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	9,733	14	0,695				
VAR.FACTEUR 1	3,733	4	0,933	1,556	0,25946		
VAR.RESIDUELLE 1	6	10	0,6			0,775	89,38%
Test non significatif							

**Tableau 06 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 02) des graines de l'orge stressées au gasoil

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cinétique (Jour 2)	2,33±0,57	2,33±0,57	2,33±1,15	1±1	0±0		
Comparaison des moyennes	A	A	A	AB	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	19,6	14	1,4				
VAR.FACTEUR 1	13,6	4	3,4	5,667	0,01227		
VAR.RESIDUELLE 1	6	10	0,6			0,775	48,41%
Test significatif							

**Tableau 07 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 03) des graines de l'orge stressées au gasoil

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cinétique (Jour 3)	3,33±1,52	4±0	3±1	1,33±0,57	0±0		
Comparaison des moyennes	A	A	A	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	39,333	14	2,81				
VAR.FACTEUR 1	32	4	8	10,909	0,00129		
VAR.RESIDUELLE 1	7,333	10	0,733			0,856	36,70%
Test significatif							

**Tableau 08 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 04) des graines de l'orge stressées au gasoil

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cinétique (Jour 4)	8±2	7,66±0,57	7±2,64	5,66±1,52	3,66±0,57		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	65,6	14	4,686				
VAR.FACTEUR 1	37,6	4	9,4	3,357	0,05472		
VAR.RESIDUELLE 1	28	10	2,8			1,673	26,15%
Test non significatif							

**Tableau 09 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 05) des graines de l'orge stressées au gasoil

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cinétique (Jour 5)	9±1	9,66±0,57	9,33±0,57	8,66±0,57	6,33±2,30		
Comparaison des moyennes	AB	A	AB	AB	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	35,6	14	2,543				
VAR.FACTEUR 1	20,933	4	5,233	3,568	0,04678		
VAR.RESIDUELLE 1	14,667	10	1,467			1,211	14,08%
Test significatif							

**Tableau 10 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 6,7,8) des graines de l'orge stressées au gasoil

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cinétique (Jour 6, 7, 8)	9,66±0,57	9,66±0,57	9,33±0,57	9,33±0,57	8±1		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	10,4	14	0,743				
VAR.FACTEUR 1	5,733	4	1,433	3,071	0,06819		
VAR.RESIDUELLE 1	4,667	10	0,467			0,683	7,43%
Test non significatif							

**Annexe 04 :** Traitements statistiques de la variance des résultats du paramètre « **Cinétique de germination** » des graines de l'orge *Hordeum vulgare* stressées à l'huile de moteur.

**Tableau 11 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 01) des graines de l'orge stressées à l'huile

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cinétique (Jour 1)	1,33±0,57	0,33±0,57	0,66±0,57	0±0	0±0		
Comparaison des moyennes	A	B	AB	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5,733	14	0,41				
VAR.FACTEUR 1	3,733	4	0,933	4,667	0,02219		
VAR.RESIDUELLE 1	2	10	0,2			0,447	95,83%
Test significatif							

**Tableau 12 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 02) des graines de l'orge stressées à l'huile

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cinétique (Jour 2)	2,33±0,57	1,66±1,08	0,66±0,57	0±0	0±0		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	22,933	14	1,638				
VAR.FACTEUR 1	12,933	4	3,233	3,233	0,06013		
VAR.RESIDUELLE 1	10	10	1			1	107,14%
Test non significatif							

**Tableau 13 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 03) des graines de l'orge stressées à l'huile

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cinétique (Jour 3)	3,33±1,52	4±2,35	1,66±0,57	1,66±0,57	2,66±1,52		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	61,333	14	4,381				
VAR.FACTEUR 1	12,667	4	3,167	0,651	0,64113		
VAR.RESIDUELLE 1	48,667	10	4,867			2,206	82,73%
Test non significatif							

**Tableau 14 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 04) des graines de l'orge stressées à l'huile

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cinétique (Jour 4)	8±2	5,66±3,51	2,33±0,57	5,33±1,15	5±2,64		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	98,933	14	7,067				
VAR.FACTEUR 1	48,933	4	12,233	2,447	0,11415		
VAR.RESIDUELLE 1	50	10	5			2,236	42,46%
Test non significatif							

**Tableau 15 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 05) des graines de l'orge stressées à l'huile

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cinétique (Jour 5)	9±1	7,33±3,05	6±2,64	6±2	7,33±1,15		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	63,733	14	4,552				
VAR.FACTEUR 1	18,4	4	4,6	1,015	0,44574		
VAR.RESIDUELLE 1	45,333	10	4,533			2,129	29,85%
Test non significatif							

**Tableau 16** : Analyses de la cinétique de germination (jour 06) des graines de l'orge stressées à l'huile

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cinétique (Jour 6)	9,66±0,57	8±2	8,66±1,15	7±1,73	8±0		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	28,933	14	2,067				
VAR.FACTEUR 1	11,6	4	2,9	1,673	0,23149		
VAR.RESIDUELLE 1	17,333	10	1,733			1,317	15,93%
Test non significatif							

**Tableau 17** : Analyses de la cinétique de germination (jour 7,8) des graines de l'orge stressées à l'huile

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cinétique (Jour 7,8)	9,66±0,57	9±1,73	9±1	7±1,73	8±0		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	27,733	14	1,981				
VAR.FACTEUR 1	13,067	4	3,267	2,227	0,13839		
VAR.RESIDUELLE 1	14,667	10	1,467			1,211	14,19%
Test non significatif							

**Annexe 05** : Traitements statistiques de la variance des résultats du paramètre « **Cinétique de germination** » des graines du soja *Glycine max* stressées au gasoil.

**Tableau 18** : Analyses de la cinétique de germination (jour 02) des graines du soja stressées au gasoil

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cinétique (Jour 2)	1,33±0,57	0±0	0,33±0,27	0,66±0,57	1±1		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	7,333	14	0,524				
VAR.FACTEUR 1	3,333	4	0,833	2,083	0,15757		
VAR.RESIDUELLE 1	4	10	0,4			0,632	94,87%
Test non significatif							

**Tableau 19** : Analyses de la cinétique de germination (jour 03) des graines du soja stressées au gasoil

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cinétique (Jour 3)	2,33±0,57	2±1,73	3±1	1,66±1,52	1,66±0,57		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	17,733	14	1,267				
VAR.FACTEUR 1	3,733	4	0,933	0,667	0,63128		
VAR.RESIDUELLE 1	14	10	1,4			1,183	55,46%

**Tableau 20** : Analyses de la cinétique de germination (jour 04) des graines du soja stressées au gasoil

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cinétique (Jour 4)	4,33±0,57	8,66±1,52	9,33±0,57	8,33±0,57	5,66±0,57		
Comparaison des moyennes	B	A	A	A	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	62,933	14	4,495				
VAR.FACTEUR 1	55,6	4	13,9	18,955	0,00016		
VAR.RESIDUELLE 1	7,333	10	0,733			0,856	11,78%

**Tableau 21** : Analyses de la cinétique de germination (jour 5,6,7,8) des graines du soja stressées au gasoil

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cinétique (Jour 5,6,7,8)	6,33±0,57	8,66±1,52	9,33±0,57	8,33±0,57	6±1		
Comparaison des moyennes	B	A	A	A	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	34,933	14	2,495				
VAR.FACTEUR 1	26,267	4	6,567	7,577	0,00471		
VAR.RESIDUELLE 1	8,667	10	0,867			0,931	12,04%

**Annexe 06 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Cinétique de germination » des graines du soja *Glycine max* stressées à l'huile de moteur.**

**Tableau 22 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 02) des graines du soja stressées à l'huile.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cinétique (Jour 2)	1,33±0,57	0,33±0,57	1±0	0±0	0,33±0,57		
Comparaison des moyennes	A	AB	AB	B	AB		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5,6	14	0,4				
VAR.FACTEUR 1	3,6	4	0,9	4,5	0,02467		
VAR.RESIDUELLE 1	2	10	0,2			0,447	74,54%
Test significatif							

**Tableau 23 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 03) des graines du soja stressées à l'huile.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cinétique (Jour 3)	2,33±0,57	2,33±0,57	3±1	0,66±0,57	1,66±1,15		
Comparaison des moyennes	AB	AB	A	B	AB		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	16	14	1,143				
VAR.FACTEUR 1	9,333	4	2,333	3,5	0,04918		
VAR.RESIDUELLE 1	6,667	10	0,667			0,816	40,82%
Test significatif							

**Tableau 24 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 04) des graines du soja stressées à l'huile.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cinétique (Jour 4)	4,33±0,57	6,66±3,05	7±0	4±2	5±0		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	49,6	14	3,543				
VAR.FACTEUR 1	22,267	4	5,567	2,037	0,16445		
VAR.RESIDUELLE 1	27,333	10	2,733			1,653	30,62%
Test non significatif							

**Tableau 25 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 05) des graines du soja stressées à l'huile.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cinétique (Jour 5)	6,33±0,57	6,66±3,05	7,33±0,57	4,66±1,52	5±0		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	40	14	2,857				
VAR.FACTEUR 1	15,333	4	3,833	1,554	0,25984		
VAR.RESIDUELLE 1	24,667	10	2,467			1,571	26,18%
Test non significatif							

**Tableau 26 :** Analyses de la cinétique de germination (jour 6,7,8) des graines du soja stressées à l'huile.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cinétique (Jour 6,7,8)	6,33±0,57	7±2,64	7,33±0,57	6±1	5±0		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	27,333	14	1,952				
VAR.FACTEUR 1	10	4	2,5	1,442	0,29002		
VAR.RESIDUELLE 1	17,333	10	1,733			1,317	20,79%
Test non significatif							

**Annexe 07 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Vitesse de germination ».**

**Tableau 27 :** Analyses de la vitesse de germination des graines de l'orge stressées au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
vitesse de germination (J)	3,66±0,57	4±0	4±0	4,33±0,57	5±0		
Comparaison des moyennes	B	B	B	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4,4	14	0,314				
VAR.FACTEUR 1	3,067	4	0,767	5,75	0,01172		
VAR.RESIDUELLE 1	1,333	10	0,133			0,365	8,69%
Test significatif							

**Tableau 28** : Analyses de la vitesse de germination des graines de l'orge stressées à l'huile.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
vitesse de germination (J)	3,66±0,57	4,33±1,52	5,33±0,57	4,66±1,15	4,33±0,57		
Comparaison des moyennes							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	13,733	14	0,981				
VAR.FACTEUR 1	4,4	4	1,1	1,179	0,3776		
VAR.RESIDUELLE 1	9,333	10	0,933			0,966	21,63%
Test non significatif							

**Tableau 29** : Analyses de la vitesse de germination des graines du soja stressées au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
vitesse de germination (J)	4,66±0,57	4±0	4±0	4±0	4±0		
Comparaison des moyennes	A	A	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1,733	14	0,124				
VAR.FACTEUR 1	1,067	4	0,267	4	0,03442		
VAR.RESIDUELLE 1	0,667	10	0,067			0,258	6,25%
Test significatif							

**Tableau 30** : Analyses de la vitesse de germination des graines du soja stressées à l'huile.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
vitesse de germination (J)	4,66±0,57	4,66±1,15	4±0	5±1	4±0		
Comparaison des moyennes							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	7,733	14	0,552				
VAR.FACTEUR 1	2,4	4	0,6	1,125	0,39862		
VAR.RESIDUELLE 1	5,333	10	0,533			0,73	16,35%
Test non significatif							

**Annexe 08 : Traitements statistiques des résultats de la « Moyenne journalière de germination ».**

**Tableau 31 : Analyses de la moyenne journalière de germination des graines de l'orge stressées au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Moy journ de germ (%)	19,72±2,92	19,33±1,15	18,66±1,15	16,55±1,50	14,33±3,28		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	109,538	14	7,824				
VAR.FACTEUR 1	61,001	4	15,25	3,142	0,06453		
VAR.RESIDUELLE 1	48,538	10	4,854			2,203	12,43%
Test non significatif							

**Tableau 32 : Analyses de la moyenne journalière de germination des graines de l'orge stressées à l'huile.**

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Moy journ de germ (%)	19,88±4,47	14,76±5,01	14,28±2,07	12±4,80	15,11±1,54		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	249,778	14	17,841				
VAR.FACTEUR 1	99,783	4	24,946	1,663	0,23373		
VAR.RESIDUELLE 1	149,995	10	15			3,873	25,46%
Test non significatif							

**Tableau 33 : Analyses de la moyenne journalière de germination des graines du soja stressées au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Moy journ de germ (%)	12,66±1,15	21,66±3,81	23,33±1,44	20,83±1,44	13,83±		
Comparaison des moyennes	B	A	A	A	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	327,233	14	23,374				
VAR.FACTEUR 1	283,9	4	70,975	16,379	0,00028		
VAR.RESIDUELLE 1	43,333	10	4,333			2,082	11,27%
Test significatif							

**Tableau 34** : Analyses de la moyenne journalière de germination des graines du soja stressées à l'huile.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Moy jour de germ (%)	11,88±0,19	16,11±8,38	17±0,86	10,55±0,96	12,5±0		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	237,982	14	16,999				
VAR.FACTEUR 1	93,815	4	23,454	1,627	0,24207		
VAR.RESIDUELLE 1	144,167	10	14,417			3,797	27,90%
Test non significatif							

**Annexe 09** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Cinétique de longueur** » de l'orge sous l'effet du gasoil.

**Tableau 35** : Analyses de la cinétique de longueur de l'orge stressées au gasoil (après 15 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de longueur (15J) (cm)	19±1	16,5±1,5	11,7±1,7	11,9±0,9	10,7±0,7		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	170,376	14	12,17				
VAR.FACTEUR 1	155,496	4	38,874	26,125	0,00005		
VAR.RESIDUELLE 1	14,88	10	1,488			1,22	8,74%
Test significatif							

**Tableau 36** : Analyses de la cinétique de longueur de l'orge stressées au gasoil (après 21 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de longueur (21J) (cm)	34,4±2,4	29,8±0,8	25,2±0,7	22,6±0,6	20,6±1,6		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	394,644	14	28,189				
VAR.FACTEUR 1	375,024	4	93,756	47,786	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	19,62	10	1,962			1,401	5,28%
Test significatif							

**Tableau 37** : Analyses de la cinétique de longueur de l'orge stressées au gasoil (après 35 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de longueur (35J) (cm)	45,4±4,4	41,4±3,4	35,4±4,4	33,8±3,8	32,9±3,9		
Comparaison des moyennes	A	AB	B	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	509,324	14	36,38				
VAR.FACTEUR 1	349,464	4	87,366	5,465	0,01375		
VAR.RESIDUELLE 1	159,86	10	15,986			3,998	10,58%
Test significatif							

**Tableau 38** : Analyses de la cinétique de longueur de l'orge stressées au gasoil (après 42 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de longueur (42J) (cm)	49,5±4,5	43,8±3,8	40,6±5	36,2±2,42	35±3		
Comparaison des moyennes	A	AB	B	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	567,004	14	40,5				
VAR.FACTEUR 1	417,864	4	104,466	7,005	0,00615		
VAR.RESIDUELLE 1	149,14	10	14,914			3,862	9,41%
Test significatif							

**Tableau 39** : Analyses de la cinétique de longueur de l'orge stressées au gasoil (après 49 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de longueur (49J) (cm)	58,5±6	51,6±4	50,4±2,4	47±4	40,2±2,2		
Comparaison des moyennes	A	AB	AB	BC	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	694,056	14	49,575				
VAR.FACTEUR 1	536,856	4	134,214	8,538	0,00311		
VAR.RESIDUELLE 1	157,2	10	15,72			3,965	8,00%
Test significatif							

**Tableau 40** : Analyses de la cinétique de longueur de l'orge stressées au gasoil (après 56 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de longueur (56J) (cm)	62,3±5	58,8±3	54±4	51,1±3	45±2		
Comparaison des moyennes	A	AB	B	BC	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	669,156	14	47,797				
VAR.FACTEUR 1	543,155	4	135,789	10,777	0,00134		
VAR.RESIDUELLE 1	126	10	12,6			3,55	6,54%
Test significatif							

**Annexe 10** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Cinétique de nombre de feuilles** » de l'orge sous l'effet du gasoil.

**Tableau 41** : Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressées au gasoil (15 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (15J)	2±0	1,66±0,57	1,66±0,57	1±0	0,66±0,57		
Comparaison des moyennes	A	AB	AB	AB	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5,6	14	0,4				
VAR.FACTEUR 1	3,6	4	0,9	4,5	0,02467		
VAR.RESIDUELLE 1	2	10	0,2			0,447	31,94%
Test significatif							

**Tableau 42** : Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressées au gasoil (21 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (21J)	4±1	3,33±0,57	3±0	2,66±0,57	2±0		
Comparaison des moyennes	A	AB	AB	AB	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	10	14	0,714				
VAR.FACTEUR 1	6,667	4	1,667	5	0,01806		
VAR.RESIDUELLE 1	3,333	10	0,333			0,577	19,25%
Test significatif							

**Tableau 43 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressées au gasoil (28 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (28J)	6,33±0,57	5,66±0,57	4±0	3,33±0,57	2,66±0,57		
Comparaison des moyennes	A	A	B	BC	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	31,6	14	2,257				
VAR.FACTEUR 1	28,933	4	7,233	27,125	0,00004		
VAR.RESIDUELLE 1	2,667	10	0,267			0,516	11,74%
Test significatif							

**Tableau 44 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressées au gasoil (35 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (35J)	12±1	9±1	6±0	5,33±0,57	4,66±0,57		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	117,6	14	8,4				
VAR.FACTEUR 1	112,267	4	28,067	52,625	0		
VAR.RESIDUELLE 1	5,333	10	0,533			0,73	9,87%
Test significatif							

**Tableau 45 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressées au gasoil (42 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (42J)	17±1	11,66±0,57	7,33±0,57	6,33±0,57	6±0		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	267,333	14	19,095				
VAR.FACTEUR 1	263,333	4	65,833	164,583	0		
VAR.RESIDUELLE 1	4	10	0,4			0,632	6,54%
Test significatif							

**Tableau 46 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressées au gasoil (49 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (49J)	18±1	13±0	9,33±0,57	8,33±0,57	7±0		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	D		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	239,733	14	17,124				
VAR.FACTEUR 1	236,4	4	59,1	177,3	0		
VAR.RESIDUELLE 1	3,333	10	0,333			0,577	5,19%

**Tableau 47 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressée au gasoil (56 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (56J)	19±1	14±1	11,33±0,57	10±0	9±0		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	D		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	197,333	14	14,095				
VAR.FACTEUR 1	192,667	4	48,167	103,214	0		
VAR.RESIDUELLE 1	4,667	10	0,467			0,683	5,39%

**Annexe 11 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Surface foliaire totale » de l'orge sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 48 :** Analyses de la surface foliaire totale de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Surf fol totale (cm <sup>2</sup> )	148,5±39,4	66,12±22,03	73,08±16,21	43,48±14,38	46,36±10,41		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	27149,29	14	1939,235				
VAR.FACTEUR 1	21911,53	4	5477,883	10,4585	0,0015		
VAR.RESIDUELLE 1	5237,754	10	523,7754			22,8861	30,30%

**Annexe 12 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Longueur aérienne, racinaire et totale » de l'orge sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 49 :** Analyses de la longueur totale de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Longueur totale (cm)	102±2,64	93,33±2,88	80±1	74,33±1,52	67,66±2,08		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	E		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2403,733	14	171,6952				
VAR.FACTEUR 1	2357,733	4	589,4333	128,1377	0		
VAR.RESIDUELLE 1	46	10	4,6			2,1448	2,57%
Test significatif							

**Tableau 50 :** Analyses de la longueur aérienne de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Longueur aérienne (cm)	66,66±3,51	62,66±2,51	58,33±1,15	55±1	48,66±2,08		
Comparaison des moyennes	A	A	B	B	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	628,9333	14	44,9238				
VAR.FACTEUR 1	578,2667	4	144,5667	28,5329	0,00003		
VAR.RESIDUELLE 1	50,6667	10	5,0667			2,2509	3,86%
Test significatif							

**Tableau 51 :** Analyses de la longueur racinaire de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Longueur racinaire (cm)	35,33±2,51	30,66±1,15	21,66±2,08	19,33±2,51	19±0		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	690,4	14	49,3143				
VAR.FACTEUR 1	653,7333	4	163,4333	44,5727	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	36,6667	10	3,6667			1,9149	7,60%
Test significatif							

**Annexe 13 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Poids frais aérien, racinaire et totale » de l'orge sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 52 : Analyses du poids frais total de l'orge stressée au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Poids frais total (g)	6,7±0,1	6,09±0,13	3,84±0,09	3,37±0,17	2,61±0,13		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	E		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	38,0791	14	2,7199				
VAR.FACTEUR 1	37,9142	4	9,4785	574,6934	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,1649	10	0,0165			0,1284	2,84%
Test significatif							

**Tableau 53 : Analyses du poids frais aérien de l'orge stressée au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Poids frais aérien (g)	4,46±0,30	4,2±0,26	2,3±0,1	2,1±0,17	1,53±0,14		
Comparaison des moyennes	A	A	B	B	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	21,5089	14	1,5364				
VAR.FACTEUR 1	21,0584	4	5,2646	116,8697	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,4505	10	0,045			0,2122	7,27%
Test significatif							

**Tableau 54 : Analyses du poids frais racinaire de l'orge stressée au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Poids frais racinaire (g)	2,23±0,20	1,89±0,13	1,54±0,005	1,27±0,005	1,08±0,04		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2,7255	14	0,1947				
VAR.FACTEUR 1	2,5965	4	0,6491	50,323	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,129	10	0,0129			0,1136	7,08%
Test significatif							

**Annexe 14 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Poids sec aérien, racinaire et totale » de l'orge sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 55 : Analyses du poids sec total de l'orge stressée au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Poids sec total (g)	2±0,12	1,38±0,13	1,17±0,05	0,96±0,02	0,69±0,04		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	E		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3,007	14	0,2148				
VAR.FACTEUR 1	2,9298	4	0,7325	94,8667	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0772	10	0,0077			0,0879	7,07%
Test significatif							

**Tableau 56 : Analyses du poids sec aérien de l'orge stressée au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Poids sec aérien (g)	1,73±0,15	1,17±0,13	0,97±0,06	0,84±0,02	0,59±0,04		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2,3214	14	0,1658				
VAR.FACTEUR 1	2,2242	4	0,5561	57,2472	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0971	10	0,0097			0,0986	9,29%
Test significatif							

**Tableau 57 : Analyses du poids sec racinaire de l'orge stressée au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Poids sec racinaire (g)	0,26±0,03	0,21±0,005	0,2±0,01	0,12±0,005	0,10±0,005		
Comparaison des moyennes	A	B	B	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,057	14	0,0041				
VAR.FACTEUR 1	0,0543	4	0,0136	50,9125	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0027	10	0,0003			0,0163	9,01%
Test significatif							

**Annexe 15 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Teneur relative en eau RWC » de l'orge sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 58 :** Analyses de la teneur relative en eau RWC de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
RWC (%)	78,34±2,28	82,43±3,21	85,21±2,08	84,61±2,71	88,15±2,74		
Comparaison des moyennes	B	AB	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	229,6588	14	16,4042				
VAR.FACTEUR 1	159,9499	4	39,9875	5,7364	0,0118		
VAR.RESIDUELLE 1	69,7089	10	6,9709			2,6402	3,15%
Test significatif							

**Annexe 16 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Taux de déperdition d'eau RWL » de l'orge sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 59 :** Analyses du taux de déperdition d'eau RWL<sub>30</sub> de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
RWL <sub>30</sub> (g.cm <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup> )	0,003±0,0008	0,0056±0,0034	0,0028±0,0005	0,0036±0,0011	0,0025±0,0012		
Comp des moy	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0	14	0				
VAR.FACTEUR 1	0	4	0	1,5124	0,27066		
VAR.RESIDUELLE 1	0	10	0			0,0017	49,81%
Test non significatif							

**Tableau 60 :** Analyses du taux de déperdition d'eau RWL<sub>60</sub> de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
RWL <sub>60</sub> g.cm <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup>	0,0021±0,0005	0,0038±0,0019	0,0023±0,0005	0,0029±0,0011	0,0021±0,0008		
Comp des moy	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0	14	0				
VAR.FACTEUR 1	0	4	0	1,3666	0,31268		
VAR.RESIDUELLE 1	0	10	0			0,0011	40,62%
Test non significatif							

**Tableau 61** : Analyses du taux de déperdition d'eau  $RWL_{120}$  de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
$RWL_{120}$ (g.cm <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup> )	0,0015±0,0003	0,0028±0,001	0,0018±0,0004	0,0023±0,001	0,0017±0,0008		
Comp des moy	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0	14	0				
VAR.FACTEUR 1	0	4	0	1,2435	0,35368		
VAR.RESIDUELLE 1	0	10	0			0,0008	38,81%
Test non significatif							

**Annexe 17** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Matière sèche MS » de l'orge sous l'effet du gasoil.

**Tableau 62** : Analyses de la matière sèche MS de la feuille de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
MS de feuille (%)	27,78±1,05	26,87±0,66	27,07±1,32	28,91±2,76	25,72±0,62		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	39,3426	14	2,8102				
VAR.FACTEUR 1	16,6546	4	4,1637	1,8352	0,19834		
VAR.RESIDUELLE 1	22,688	10	2,2688			1,5063	5,52%
Test non significatif							

**Tableau 63** : Analyses de la matière sèche MS de la plante totale de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
MS de plante totale (%)	29,87±2,30	22,74±2,60	30,43±0,68	28,68±0,84	26,58±1,79		
Comparaison des moyennes	A	B	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	149,6639	14	10,6903				
VAR.FACTEUR 1	116,6882	4	29,1721	8,8465	0,00274		
VAR.RESIDUELLE 1	32,9757	10	3,2976			1,8159	6,56%
Test significatif							

**Tableau 64 :** Analyses de la matière sèche MS de la partie aérienne de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
MS de partie aérienne (%)	39,06±5,96	28,05±4,86	42,16±1,52	40,27±2,17	38,77±4,23		
Comparaison des moyennes	A	B	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	536,0669	14	38,2905				
VAR.FACTEUR 1	367,6321	4	91,908	5,4566	0,01381		
VAR.RESIDUELLE 1	168,4348	10	16,8435			4,1041	10,90%
Test significatif							

**Tableau 65 :** Analyses de la matière sèche MS de la partie racinaire de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
MS de partie racinaire (%)	12,10±2,59	11,34±1,18	12,96±1,14	9,68±0,40	9,56±0,15		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	45,9383	14	3,2813				
VAR.FACTEUR 1	26,6457	4	6,6614	3,4528	0,05093		
VAR.RESIDUELLE 1	19,2926	10	1,9293			1,389	12,48%
Test non significatif							

**Annexe 18 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre «Déficit hydrique de saturation DHS» de l'orge sous l'effet du gasoil.

**Tableau 66 :** Analyses du déficit hydrique de saturation (DHS) de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
DHS (%)	21,65±2,28	17,56±3,21	14,78±2,08	15,38±2,71	11,84±2,74		
Comparaison des moyennes	A	AB	B	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	229,6565	14	16,404				
VAR.FACTEUR 1	159,9481	4	39,987	5,7363	0,0118		
VAR.RESIDUELLE 1	69,7084	10	6,9708			2,6402	16,25%
Test significatif							

**Annexe 19 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Chlorophylle » de l'orge sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 67 : Analyses de la chlorophylle (a) de l'orge stressée au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Chl a ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	1239,21 $\pm$ 37,49	943,56 $\pm$ 84,43	617,49 $\pm$ 16,67	615,48 $\pm$ 29,61	498,62 $\pm$ 33,89		
Comp des moy	A	B	C	C	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1132374	14	80883,86				
VAR.FACTEUR 1	1110696	4	277673,9	128,0887	0		
VAR.RESIDUELLE 1	21678,25	10	2167,825			46,5599	5,95%
Test significatif							

**Tableau 68 : Analyses de la chlorophylle (b) de l'orge stressée au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Chl b ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	952,47 $\pm$ 53,44	632,49 $\pm$ 54,88	428,21 $\pm$ 61,79	484,31 $\pm$ 111,57	405,14 $\pm$ 99,002		
Comp des moy	A	B	C	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	676642,1	14	48331,58				
VAR.FACTEUR 1	612769,2	4	153192,3	23,9839	0,00007		
VAR.RESIDUELLE 1	63872,94	10	6387,294			79,9205	13,77%
Test significatif							

**Tableau 69 : Analyses de la chlorophylle totale (a+b) de l'orge stressée au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Chl a+b ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	2161,62 $\pm$ 89,52	1555,09 $\pm$ 137,47	1031,69 $\pm$ 77,04	1084,64 $\pm$ 138,62	891,21 $\pm$ 121,36		
Comp des moy	A	B	C	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3382242	14	241588,7				
VAR.FACTEUR 1	3248647	4	812161,6	60,7928	0		
VAR.RESIDUELLE 1	133595	10	13359,5			115,5833	8,59%
Test significatif							

**Tableau 70 :** Analyses de caroténoïdes/xanthophylles de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Carot/xant ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	1065,53±34,987	758,27±68,71	415,32±7,93	532,32±99,49	403,70±97,12		
Comp des moy	A	B	C	C	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	989234	14	70659,57				
VAR.FACTEUR 1	938550,8	4	234637,7	46,295	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	50683,19	10	5068,319			71,1921	11,21%
Test significatif							

**Annexe 20 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Protéines totales** » de l'orge sous l'effet du gasoil.

**Tableau 71 :** Analyses de protéines totales des racines de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Protéines des racines ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	34,74±5,24	25,80±2,22	17,84±2,14	17,14±2,84	10,04±4,13		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1194,257	14	85,3041				
VAR.FACTEUR 1	1069,666	4	267,4166	21,4635	0,0001		
VAR.RESIDUELLE 1	124,5911	10	12,4591			3,5297	16,71%
Test significatif							

**Tableau 72 :** Analyses de protéines totales des feuilles de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Protéines des feuilles ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	76,18±4,85	59,23±3,32	58,51±1,94	57,008±4,16	44,69±6,45		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1707,631	14	121,9736				
VAR.FACTEUR 1	1512,927	4	378,2318	19,4261	0,00015		
VAR.RESIDUELLE 1	194,7034	10	19,4703			4,4125	7,46%
Test significatif							

**Annexe 21 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Sucres solubles totaux » de l'orge sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 73 :** Analyses de sucres solubles totaux des racines de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Sucres de racines (mg.g <sup>-1</sup> )	21,76±0,69	17,84±0,99	17,09±0,49	14,53±1,07	19,87±2,17		
Comparaison des moyennes	A	BC	C	D	AB		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	106,2092	14	7,5864				
VAR.FACTEUR 1	90,9985	4	22,7496	14,9563	0,0004		
VAR.RESIDUELLE 1	15,2107	10	1,5211			1,2333	6,77%
Test significatif							

**Tableau 74 :** Analyses de sucres solubles totaux des feuilles de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Sucres de feuilles (mg.g <sup>-1</sup> )	97,25±5,29	91,83±2,94	48,28±2,47	49,24±7,19	39,56±4,56		
Comparaison des moyennes	A	A	B	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	9034,735	14	645,3383				
VAR.FACTEUR 1	8803,769	4	2200,942	95,2926	0		
VAR.RESIDUELLE 1	230,9668	10	23,0967			4,8059	7,37%
Test significatif							

**Tableau 75 :** Analyses de sucres solubles totaux des gains de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Sucres de gains (mg.g <sup>-1</sup> )	51,49±5,35	44,33±5,68	34,51±5,47	41,29±1,95	32,38±1,61		
Comparaison des moyennes	A	AB	BC	BC	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	907,2043	14	64,8003				
VAR.FACTEUR 1	712,3608	4	178,0902	9,1402	0,00244		
VAR.RESIDUELLE 1	194,8434	10	19,4843			4,4141	10,82%
Test significatif							

**Tableau 76 :** Analyses de sucres solubles totaux des tiges de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Sucres de tiges (mg.g <sup>-1</sup> )	74,27±7,88	82,20±7,43	112,06±5,05	109,65±10,95	107,25±7,79		
Comparaison des moyennes	B	B	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4329,328	14	309,2377				
VAR.FACTEUR 1	3681,738	4	920,4344	14,2132	0,00048		
VAR.RESIDUELLE 1	647,5898	10	64,759			8,0473	8,29%
Test significatif							

**Annexe 22 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Proline** » de l'orge sous l'effet du gasoil.

**Tableau 77 :** Analyses de la proline des racines de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Proline des racines (mg.g <sup>-1</sup> )	2,18±0,03	3,12±0,59	4,35±0,39	4,71±1,06	4,94±0,75		
Comparaison des moyennes	B	B	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	20874190	14	1491013				
VAR.FACTEUR 1	16436380	4	4109095	9,2593	0,00233		
VAR.RESIDUELLE 1	4437810	10	443781			666,1689	17,23%
Test significatif							

**Tableau 78 :** Analyses de la proline des feuilles de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Proline des feuilles (mg.g <sup>-1</sup> )	3,27±0,17	4,03±0,32	5,52±0,78	7,56±1,08	11,97±0,43		
Comparaison des moyennes	D	D	C	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	150029700	14	10716410				
VAR.FACTEUR 1	145770300	4	36442560	85,5578	0		
VAR.RESIDUELLE 1	4259408	10	425940,8			652,6414	10,08%
Test significatif							

**Tableau 79** : Analyses de la proline des gains de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Proline des gains (mg.g <sup>-1</sup> )	3,00±0,16	6,36±0,31	8,94±0,70	10,91±0,33	14,51±1,31		
Comparaison des moyennes	E	D	C	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	235093700	14	16792410				
VAR.FACTEUR 1	230134400	4	57533600	116,0109	0		
VAR.RESIDUELLE 1	4959328	10	495932,8			704,225	8,05%
Test significatif							

**Tableau 80** : Analyses de la proline des tiges de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Proline des tiges (mg.g <sup>-1</sup> )	6,49±0,67	7,07±1,37	10,71±1,34	14,24±2,81	24,65±0,35		
Comparaison des moyennes	D	D	C	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	682050400	14	48717880				
VAR.FACTEUR 1	657656800	4	164414200	67,4005	0		
VAR.RESIDUELLE 1	24393600	10	2439360			1561,845	12,36%
Test significatif							

**Annexe 23** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Polyphénols totaux** » de l'orge sous l'effet du **gasoil**.

**Tableau 81** : Analyses de polyphénols totaux des racines de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
P.phénols /racines (µg.g <sup>-1</sup> )	4499,93±306	4144,79±854	3615,26±580	2335,03±197	3117,63±424		
Compar des moyennes	A	AB	AB	C	BC		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	11528780	14	823484				
VAR.FACTEUR 1	8769676	4	2192419	7,9461	0,00399		
VAR.RESIDUELLE 1	2759108	10	275910			525,2721	14,83%
Test significatif							

**Tableau 82** : Analyses de polyphénols totaux des feuilles de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
P.phénols /feuilles ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	3582,30 $\pm$ 513	3885,34 $\pm$ 112	3887,47 $\pm$ 22	3846,00 $\pm$ 43	3925,75 $\pm$ 81		
Compar des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	800811,2	14	57200,8				
VAR.FACTEUR 1	231114,2	4	57778,55	1,0142	0,44597		
VAR.RESIDUELLE 1	569697	10	56969,7			238,6833	6,24%
Test non significatif							

**Tableau 83** : Analyses de polyphénols totaux des gains de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
P.phénols /gains ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	3223,96 $\pm$ 408	4134,16 $\pm$ 185	3866,20 $\pm$ 392	4908,25 $\pm$ 271	4753,00 $\pm$ 312		
Compar des moyennes	C	B	B	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	6673019	14	476644,2				
VAR.FACTEUR 1	5619657	4	1404914	13,3374	0,00061		
VAR.RESIDUELLE 1	1053363	10	105336,3			324,5555	7,77%
Test significatif							

**Tableau 84** : Analyses de polyphénols totaux des tiges de l'orge stressée au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
P.phénols /tiges ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	3172,92 $\pm$ 71	3470,65 $\pm$ 211	3612,07 $\pm$ 25	3531,26 $\pm$ 19	3612,07 $\pm$ 65		
Compar des moyennes	B	A	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	505607,6	14	36114,83				
VAR.FACTEUR 1	395689,8	4	98922,44	8,9997	0,00258		
VAR.RESIDUELLE 1	109917,9	10	10991,79			104,8417	3,01%
Test significatif							

**Annexe 24 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « flavonoïdes » de l'orge sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 85 : Analyses de flavonoïdes des racines de l'orge stressées au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Flavonoïd/racines ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	85,27±19,12	51,33±9,88	60,66±2,23	68,72±2,54	75,09±19,59		
Compar des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3758,984	14	268,4988				
VAR.FACTEUR 1	2041,421	4	510,3553	2,9714	0,07382		
VAR.RESIDUELLE 1	1717,563	10	171,7563			13,1056	19,21%
Test non significatif							

**Tableau 86 : Analyses de flavonoïdes des feuilles de l'orge stressées au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Flavonoïd/feuilles ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	305,45±20,3	347,34±20,2	404,93±57,8	431,98±8,38	415,65±14,39		
Compar des moyennes	B	B	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	42533,54	14	3038,11				
VAR.FACTEUR 1	33638,35	4	8409,588	9,4541	0,00216		
VAR.RESIDUELLE 1	8895,191	10	889,5192			29,8248	7,83%
Test significatif							

**Tableau 87 : Analyses de flavonoïdes des gains de l'orge stressées au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Flavonoïd/gains ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	71,69±14,98	80,60±19,17	89,51±21,46	92,69±27,29	111,57±6,5		
Compar des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	6360,45	14	454,3179				
VAR.FACTEUR 1	2679,638	4	669,9095	1,82	0,2012		
VAR.RESIDUELLE 1	3680,812	10	368,0812			19,1854	21,50%
Test non significatif							

**Tableau 88** : Analyses de flavonoïdes des tiges de l'orge stressées au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Flavonoïd/tiges ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	251,78±39,9	295,80±13,4	355,51±23,8	260,90±28,7	335,89±53,78		
Compar des moyennes	B	AB	A	B	AB		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	36850,68	14	2632,192				
VAR.FACTEUR 1	24721,29	4	6180,323	5,0953	0,01706		
VAR.RESIDUELLE 1	12129,39	10	1212,939			34,8273	11,61%
Test non significatif							

**Annexe 25** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH » de l'orge sous l'effet du gasoil.

**Tableau 89** : Analyses de DPPH des racines de l'orge stressées au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
DPPH/racines (%)	33,96±3,79	31,11±8,87	28,90±6,95	13,47±6,95	9,67±2,65		
Compar des moyennes	A	A	A	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1859,288	14	132,8063				
VAR.FACTEUR 1	1465,209	4	366,3022	9,2951	0,0023		
VAR.RESIDUELLE 1	394,0795	10	39,408			6,2776	26,79%
Test significatif							

**Tableau 90** : Analyses de DPPH des feuilles de l'orge stressées au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
DPPH/feuilles (%)	76,85±4,78	72,92±1,61	68,88±4,78	67,93±3,87	76,72±1,70		
Compar des moyennes	A	A	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	345,1189	14	24,6514				
VAR.FACTEUR 1	212,3526	4	53,0882	3,9986	0,03446		
VAR.RESIDUELLE 1	132,7663	10	13,2766			3,6437	5,01%
Test significatif							

**Tableau 91 : Analyses de DPPH des gains de l'orge stressées au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
DPPH/gains (%)	73,05±3,96	72,16±3,03	68,62±4,82	70,08±1,23	68,24±3,14		
Compar des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	173,3501	14	12,3822				
VAR.FACTEUR 1	54,1441	4	13,536	1,1355	0,3944		
VAR.RESIDUELLE 1	119,206	10	11,9206			3,4526	4,90%
Test non significatif							

**Tableau 92 : Analyses de DPPH des tiges de l'orge stressées au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
DPPH/tiges (%)	65,08±5,50	65,90±3,79	68,43±1,42	69,95±2,52	73,05±2,08		
Compar des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	238,6838	14	17,0488				
VAR.FACTEUR 1	123,7518	4	30,938	2,6918	0,09272		
VAR.RESIDUELLE 1	114,932	10	11,4932			3,3902	4,95%
Test non significatif							

**Annexe 26 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Cinétique de longueur » du soja sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 93 : Analyses de la cinétique de longueur du soja stressé au gasoil (après 15 jours).**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de longueur (15J) (cm)	11,8±0,3	10,8±0,8	7,1±0,4	6,1±0,6	1,7±0,1		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	E		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	197,94	14	14,139				
VAR.FACTEUR 1	195,42	4	48,855	193,869	0		
VAR.RESIDUELLE 1	2,52	10	0,252			0,502	6,69%
Test significatif							

**Tableau 94** : Analyses de la cinétique de longueur du soja stressé au gasoil (après 21 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de longueur (21J) (cm)	20,3±1,3	20±2	15,1±2,1	14,6±1,6	6,8±0,8		
Comparaison des moyennes	A	A	B	B	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	386,156	14	27,583				
VAR.FACTEUR 1	359,556	4	89,889	33,793	0,00002		
VAR.RESIDUELLE 1	26,6	10	2,66			1,631	10,62%
Test significatif							

**Tableau 95** : Analyses de la cinétique de longueur du soja stressées au gasoil (après 35 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de longueur (35J) (cm)	40,3±4	35,9±5	33,3±3	31,4±1,4	26,6±1,5		
Comparaison des moyennes	A	AB	ABC	BC	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	420,599	14	30,043				
VAR.FACTEUR 1	312,179	4	78,045	7,198	0,00561		
VAR.RESIDUELLE 1	108,42	10	10,842			3,293	9,83%
Test significatif							

**Tableau 96** : Analyses de la cinétique de longueur du soja stressées au gasoil (après 42 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de longueur (42J) (cm)	50,5±4	41,5±4	39,3±2	38,1±3	36,5±1,5		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	460,164	14	32,869				
VAR.FACTEUR 1	365,664	4	91,416	9,674	0,00199		
VAR.RESIDUELLE 1	94,5	10	9,45			3,074	7,46%
Test significatif							

**Tableau 97** : Analyses de la cinétique de longueur du soja stressé au gasoil (après 49 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de longueur (49J) (cm)	52,3±3	44,83±4,50	40,8±1	40,3±2	40,1±3		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	411,173	14	29,369				
VAR.FACTEUR 1	324,506	4	81,127	9,361	0,00224		
VAR.RESIDUELLE 1	86,667	10	8,667			2,944	6,74%
Test significatif							

**Tableau 98** : Analyses de la cinétique de longueur du soja stressé au gasoil (après 56 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de longueur (56J) (cm)	53±3	45,13±4,50	42,3±2	41±2	39,6±1,6		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	419,749	14	29,982				
VAR.FACTEUR 1	339,962	4	84,991	10,652	0,0014		
VAR.RESIDUELLE 1	79,787	10	7,979			2,825	6,39%
Test significatif							

**Annexe 27** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Cinétique de nombre de feuilles** » du soja sous l'effet du gasoil.

**Tableau 99** : Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressé au gasoil (15 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (15J)	4,33±0,57	4±0	4±0	4±0	3,66±0,57		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2	14	0,143				
VAR.FACTEUR 1	0,667	4	0,167	1,25	0,35138		
VAR.RESIDUELLE 1	1,333	10	0,133			0,365	9,13%
Test non significatif							

**Tableau 100 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressées au gasoil (21 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (21J)	9,66±0,57	7,33±0,57	7±0	7±0	5,66±0,57		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	27,333	14	1,952				
VAR.FACTEUR 1	25,333	4	6,333	31,667	0,00002		
VAR.RESIDUELLE 1	2	10	0,2			0,447	6,10%
Test significatif							

**Tableau 101 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressées au gasoil (28 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (28J)	13±0	13±0	10,66±0,57	9,66±0,57	7,66±0,57		
Comparaison des moyennes	A	A	B	C	D		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	64,4	14	4,6				
VAR.FACTEUR 1	62,4	4	15,6	78	0		
VAR.RESIDUELLE 1	2	10	0,2			0,447	4,14%
Test significatif							

**Tableau 102 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressé au gasoil (35 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (35J)	16±1	13±0	12,66±0,57	10±0	10±0		
Comparaison des moyennes	A	B	B	C	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	77,333	14	5,524				
VAR.FACTEUR 1	74,667	4	18,667	70	0		
VAR.RESIDUELLE 1	2,667	10	0,267			0,516	4,19%
Test significatif							

**Tableau 103** : Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressé au gasoil (42 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (42J)	18,33±0,57	16±0	15,66±0,57	13±0	12,66±0,57		
Comparaison des moyennes	A	B	B	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	67,733	14	4,838				
VAR.FACTEUR 1	65,733	4	16,433	82,167	0		
VAR.RESIDUELLE 1	2	10	0,2			0,447	2,96%
Test significatif							

**Tableau 104** : Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressé au gasoil (49 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (49J)	18,66±0,57	16±0	15,66±0,57	15,66±0,57	12,66±0,57		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	56,933	14	4,067				
VAR.FACTEUR 1	54,267	4	13,567	50,875	0		
VAR.RESIDUELLE 1	2,667	10	0,267			0,516	3,28%
Test significatif							

**Tableau 105** : Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressé au gasoil (56 jours).

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Cin de nbre feuilles (56J)	19±0	16±0	16±0	15,66±0,57	13±0		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	54,933	14	3,924				
VAR.FACTEUR 1	54,267	4	13,567	203,5	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,667	10	0,067			0,258	1,62%
Test significatif							

**Annexe 28 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Surface foliaire totale » du soja sous l'effet du gasoil.****Tableau 106 : Analyses de la surface foliaire totale du soja stressé au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Surf fol totale (cm <sup>2</sup> )	576,01±78	395,13±49	454,08±19	311,61±65	196,61±14		
Comparaison des moyennes	A	BC	B	C	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	283050,1	14	20217,87				
VAR.FACTEUR 1	246668,7	4	61667,17	16,9502	0,00025		
VAR.RESIDUELLE 1	36381,45	10	3638,145			60,317	15,60%
Test significatif							

**Annexe 29 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Longueur aérienne, racinaire et totale » du soja sous l'effet du gasoil.****Tableau 107 : Analyses de la longueur totale du soja stressée au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Longueur totale (cm)	97,33±2,51	83,33±2,51	68,33±2,08	64,33±2,30	64±2,64		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2597,733	14	185,5524				
VAR.FACTEUR 1	2539,066	4	634,7666	108,1987	0		
VAR.RESIDUELLE 1	58,6668	10	5,8667			2,4221	3,21%
Test significatif							

**Tableau 108 : Analyses de la longueur aérienne du soja stressée au gasoil.**

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Longueur aérienne (cm)	62,66±0,57	59,33±1,52	42,33±2,08	41,66±1,15	41,33±4,04		
Comparaison des moyennes	A	A	B	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1397,733	14	99,8381				
VAR.FACTEUR 1	1348,4	4	337,1	68,331	0		
VAR.RESIDUELLE 1	49,3334	10	4,9333			2,2211	4,49%
Test significatif							

**Tableau 109** : Analyses de la longueur racinaire du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Longueur racinaire (cm)	34,66±3,05	24±1,73	26±1	22,66±1,15	22,66±1,52		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	338	14	24,1429				
VAR.FACTEUR 1	304	4	76	22,3529	0,00009		
VAR.RESIDUELLE 1	34	10	3,4			1,8439	7,09%

**Annexe 30** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Poids frais aérien, racinaire et totale** » du soja sous l'effet du gasoil.

**Tableau 110** : Analyses du poids frais total du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Poids frais total (g)	13,16±0,21	9,76±0,47	8,72±0,19	7,68±0,22	5,27±0,16		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	E		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	101,5956	14	7,2568				
VAR.FACTEUR 1	100,8268	4	25,2067	327,9006	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,7687	10	0,0769			0,2773	3,11%

**Tableau 111** : Analyses du poids frais aérien du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Poids frais aérien (g)	10,46±0,10	8,02±0,55	6,36±0,42	5,41±0,04	3,36±0,30		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	E		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	87,6014	14	6,2572				
VAR.FACTEUR 1	86,4127	4	21,6032	181,7323	0		
VAR.RESIDUELLE 1	1,1887	10	0,1189			0,3448	5,12%

**Tableau 112** : Analyses du poids frais racinaire du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Poids frais racinaire (g)	2,69±0,11	1,73±0,09	2,36±0,23	2,26±0,27	1,90±0,14		
Comparaison des moyennes	A	C	AB	B	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2,0782	14	0,1484				
VAR.FACTEUR 1	1,7361	4	0,434	12,6873	0,00073		
VAR.RESIDUELLE 1	0,3421	10	0,0342			0,185	8,44%
Test significatif							

**Annexe 31 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Poids sec aérien, racinaire et totale » du soja sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 113** : Analyses du poids sec total du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Poids sec total (g)	2,86±0,15	2,33±0,10	1,32±0,005	1,18±0,15	0,96±0,03		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	8,1754	14	0,584				
VAR.FACTEUR 1	8,0627	4	2,0157	178,8486	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,1127	10	0,0113			0,1062	6,13%
Test significatif							

**Tableau 114** : Analyses du poids sec aérien du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Poids sec aérien (g)	2,46±0,17	2,02±0,13	1,03±0,02	0,92±0,17	0,75±0,04		
Comparaison des moyennes	A	B	C	CD	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	7,0414	14	0,503				
VAR.FACTEUR 1	6,8855	4	1,7214	110,4377	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,1559	10	0,0156			0,1248	8,69%
Test significatif							

**Tableau 115** : Analyses du poids sec racinaire du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Poids sec racinaire (g)	0,4±0,02	0,30±0,03	0,29±0,01	0,26±0,02	0,21±0,01		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,0622	14	0,0044				
VAR.FACTEUR 1	0,0576	4	0,0144	31,2826	0,00002		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0046	10	0,0005			0,0214	7,25%

**Annexe 32** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Teneur relative en eau RWC » du soja sous l'effet du gasoil.**Tableau 116** : Analyses de la teneur relative en eau RWC du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
RWC (%)	71,62±2,46	62,84±6,76	66,07±4,33	68,50±4,25	69,22±9,20		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	480,5291	14	34,3235				
VAR.FACTEUR 1	133,8076	4	33,4519	0,9648	0,46885		
VAR.RESIDUELLE 1	346,7216	10	34,6722			5,8883	8,70%

**Annexe 33** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Taux de déperdition d'eau RWL » du soja sous l'effet du gasoil.**Tableau 117** : Analyses du taux de déperdition d'eau RWL<sub>30</sub> du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
RWL <sub>30</sub> (g.cm <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup> )	0,0005±0	0,0009±0,0005	0,0011±0,0003	0,0018±0,001	0,0015±0,0002		
Comp des moy	/	/	/	/	/		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0	14	0				
VAR.FACTEUR 1	0	4	0	3,1933	0,06201		
VAR.RESIDUELLE 1	0	10	0			0,0005	42,86%

**Tableau 118 :** Analyses du taux de déperdition d'eau  $RWL_{60}$  du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
$RWL_{60} \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$	$0,0004 \pm 0,0001$	$0,0007 \pm 0,0003$	$0,0008 \pm 0,0002$	$0,0016 \pm 0,0008$	$0,0012 \pm 0,0001$		
Comp des moy	B	AB	AB	A	AB		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0	14	0				
VAR.FACTEUR 1	0	4	0	4,1175	0,03177		
VAR.RESIDUELLE 1	0	10	0			0,0004	41,05%
Test significatif							

**Tableau 119 :** Analyses du taux de déperdition d'eau  $RWL_{120}$  du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
$RWL_{120} \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$	$0,0003 \pm 0,0001$	$0,0005 \pm 0,0002$	$0,0006 \pm 0,0001$	$0,0013 \pm 0,0007$	$0,001 \pm 0,0001$		
Comp des moy	B	B	AB	A	AB		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0	14	0				
VAR.FACTEUR 1	0	4	0	4,4178	0,02602		
VAR.RESIDUELLE 1	0	10	0			0,0003	44,21%
Test significatif							

**Annexe 34 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « Matière sèche MS » du soja sous l'effet du gasoil.

**Tableau 120 :** Analyses de la matière sèche MS de la feuille du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
MS de feuille (%)	$21,56 \pm 2,47$	$24,33 \pm 3,64$	$18,63 \pm 1,44$	$17,40 \pm 1,47$	$17,48 \pm 2,67$		
Comparaison des moyennes	AB	A	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	170,09	14	12,1493				
VAR.FACTEUR 1	108,3895	4	27,0974	4,3918	0,02647		
VAR.RESIDUELLE 1	61,7006	10	6,1701			2,484	12,49%
Test significatif							

**Tableau 121** : Analyses de la matière sèche MS de la plante totale du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
MS de plante totale (%)	21,73±1,25	23,87±0,13	15,20±0,38	15,48±2,28	18,22±0,66		
Comparaison des moyennes	A	A	C	C	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	190,4271	14	13,6019				
VAR.FACTEUR 1	175,6812	4	43,9203	29,7847	0,00003		
VAR.RESIDUELLE 1	14,7459	10	1,4746			1,2143	6,42%
Test significatif							

**Tableau 122** : Analyses de la matière sèche MS de la partie aérienne du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
MS de partie aérienne (%)	23,50±1,64	25,22±0,19	16,23±1,37	16,97±3,09	22,35±1,61		
Comparaison des moyennes	A	A	B	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	227,9189	14	16,2799				
VAR.FACTEUR 1	194,2208	4	48,5552	14,4089	0,00046		
VAR.RESIDUELLE 1	33,6981	10	3,3698			1,8357	8,80%
Test significatif							

**Tableau 123** : Analyses de la matière sèche MS de la partie racinaire du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
MS de partie racinaire (%)	14,84±0,80	17,64±1,18	12,68±1,71	11,81±0,62	11,05±0,59		
Comparaison des moyennes	B	A	C	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	96,747	14	6,9105				
VAR.FACTEUR 1	85,2426	4	21,3106	18,5238	0,00018		
VAR.RESIDUELLE 1	11,5045	10	1,1504			1,0726	7,88%
Test significatif							

**Annexe 35 : Traitements statistiques des résultats du paramètre «Déficit hydrique de saturation DHS» du soja sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 124 :** Analyses du déficit hydrique de saturation (DHS) du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
DHS (%)	28,37±2,46	37,15±6,76	33,92±4,33	31,49±4,25	30,77±9,20		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	480,5291	14	34,3235				
VAR.FACTEUR 1	133,8077	4	33,4519	0,9648	0,46885		
VAR.RESIDUELLE 1	346,7214	10	34,6721			5,8883	18,20%

**Annexe 36 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Chlorophylle » du soja sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 125 :** Analyses de la chlorophylle (a) du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Chl a (µg.g <sup>-1</sup> )	677,66±94,27	682,72±57,77	513,45±70,68	701,28±63,23	495,48±38,80		
Comp des moy	A	A	B	A	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	167107,2	14	11936,23				
VAR.FACTEUR 1	121652,1	4	30413,02	6,6908	0,00716		
VAR.RESIDUELLE 1	45455,13	10	4545,513			67,4204	10,98%

**Tableau 126 :** Analyses de la chlorophylle (b) du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Chl b (µg.g <sup>-1</sup> )	344,30±15,55	452,22±122,1	342,61±93,23	393,99±34,75	303,53±50,98		
Comp des moy	/	/	/	/	/		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	94685,8	14	6763,272				
VAR.FACTEUR 1	39384,1	4	9846,024	1,7804	0,20889		
VAR.RESIDUELLE 1	55301,71	10	5530,171			74,3651	20,24%

**Tableau 127 :** Analyses de la chlorophylle totale (a+b) du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Chl a+b ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	1009,19 $\pm$ 107,74	1119,89 $\pm$ 173,89	844,69 $\pm$ 140,62	1081,27 $\pm$ 94,86	788,59 $\pm$ 88,36		
Comp des moy	A	A	A	A	A		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	411824,3	14	29416,03				
VAR.FACTEUR 1	254954,9	4	63738,73	4,0632	0,03296		
VAR.RESIDUELLE 1	156869,4	10	15686,94			125,2475	12,93%
Test significatif							

**Tableau 128 :** Analyses de caroténoïdes/xanthophylles du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Carot/xant ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	436,69 $\pm$ 15,30	562,12 $\pm$ 120,2	423,76 $\pm$ 49,52	523,91 $\pm$ 36,78	367,60 $\pm$ 55,10		
Comp des moy	AB	A	AB	AB	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	117674,9	14	8405,352				
VAR.FACTEUR 1	74603,74	4	18650,94	4,3303	0,02756		
VAR.RESIDUELLE 1	43071,18	10	4307,118			65,6286	14,18%
Test significatif							

**Annexe 37 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Protéines totales** » du soja sous l'effet du gasoil.

**Tableau 129 :** Analyses de protéines totales des racines du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Protéines des racines ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	23,63 $\pm$ 1,17	27,60 $\pm$ 1,46	38,18 $\pm$ 2,05	38,67 $\pm$ 0,84	44,63 $\pm$ 1,52		
Comparaison des moyennes	D	C	B	B	A		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	919,1122	14	65,6509				
VAR.FACTEUR 1	897,553	4	224,3882	104,0797	0		
VAR.RESIDUELLE 1	21,5593	10	2,1559			1,4683	4,25%
Test significatif							

**Tableau 130 :** Analyses de protéines totales des feuilles du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Protéines des feuilles (mg.g <sup>-1</sup> )	42,32±3,60	26,68±1,75	22,28±1,78	21,97±1,56	15,30±5,60		
Comparaison des moyennes	A	B	BC	BC	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1339,182	14	95,6559				
VAR.FACTEUR 1	1232,793	4	308,1984	28,9691	0,00003		
VAR.RESIDUELLE 1	106,3885	10	10,6389			3,2617	12,68%
Test significatif							

**Annexe 38 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Sucres solubles totaux** » du soja sous l'effet du gasoil.

**Tableau 131 :** Analyses de sucres solubles totaux des racines du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Sucres de racines (mg.g <sup>-1</sup> )	20,71±1,15	19,69±0,44	13,75±0,57	8,27±0,61	10,01±0,58		
Comparaison des moyennes	A	A	B	D	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	380,5216	14	27,1801				
VAR.FACTEUR 1	375,3394	4	93,8349	181,0729	0		
VAR.RESIDUELLE 1	5,1822	10	0,5182			0,7199	4,97%
Test significatif							

**Tableau 132 :** Analyses de sucres solubles totaux des feuilles du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Sucres de feuilles (mg.g <sup>-1</sup> )	100,23±5,61	54,97±7,58	73,63±11,54	92,39±2,21	73,67±4,77		
Comparaison des moyennes	A	C	B	A	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4294,13	14	306,7236				
VAR.FACTEUR 1	3794,327	4	948,5818	18,9791	0,00016		
VAR.RESIDUELLE 1	499,8032	10	49,9803			7,0697	8,95%
Test significatif							

**Tableau 133 :** Analyses de sucres solubles totaux des gains du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Sucres de gains (mg.g <sup>-1</sup> )	20,03±0,22	21,78±0,53	22,63±0,44	29,15±1,79	17,71±0,33		
Comparaison des moyennes	C	B	B	A	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	228,355	14	16,3111				
VAR.FACTEUR 1	220,5829	4	55,1457	70,9531	0		
VAR.RESIDUELLE 1	7,7721	10	0,7772			0,8816	3,96%
Test significatif							

**Tableau 134 :** Analyses de sucres solubles totaux des tiges du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Sucres de tiges (mg.g <sup>-1</sup> )	94,87±3,23	92,83±7,71	70,01±1,54	47,09±2,42	40,11±2,45		
Comparaison des moyennes	A	A	B	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	7827,102	14	559,0787				
VAR.FACTEUR 1	7658,569	4	1914,642	113,6062	0		
VAR.RESIDUELLE 1	168,5332	10	16,8533			4,1053	5,95%
Test significatif							

**Annexe 39 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Proline** » du soja sous l'effet du gasoil.

**Tableau 135 :** Analyses de la proline des racines du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Proline des racines (mg.g <sup>-1</sup> )	2,73±0,27	3,96±0,13	4,61±0,30	5,66±0,10	6,01±0,13		
Comparaison des moyennes	D	C	B	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	21485120	14	1534651				
VAR.FACTEUR 1	21044890	4	5261223	119,5108	0		
VAR.RESIDUELLE 1	440230	10	44023			209,8166	4,56%
Test significatif							

**Tableau 136 :** Analyses de la proline des feuilles du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Proline des feuilles (mg.g <sup>-1</sup> )	11,78±0,12	11,12±1,01	13,46±1,00	15,78±0,22	21,38±0,43		
Comparaison des moyennes	D	D	C	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	210595500	14	15042530				
VAR.FACTEUR 1	206032300	4	51508080	112,8779	0		
VAR.RESIDUELLE 1	4563168	10	456316,8			675,5123	4,59%
Test significatif							

**Tableau 137 :** Analyses de la proline des gains du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Proline des gains (mg.g <sup>-1</sup> )	6,59±0,21	6,72±0,19	7,61±0,28	9,66±0,49	9,71±0,41		
Comparaison des moyennes	C	C	B	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	29428960	14	2102068				
VAR.FACTEUR 1	28260140	4	7065036	60,4463	0		
VAR.RESIDUELLE 1	1168812	10	116881,2			341,8789	4,24%
Test significatif							

**Tableau 138 :** Analyses de la proline des tiges du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Proline des tiges (mg.g <sup>-1</sup> )	4,84±0,27	6,92±0,39	7,91±0,12	8,68±0,50	12,14±0,64		
Comparaison des moyennes	D	C	B	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	88044070	14	6288863				
VAR.FACTEUR 1	86207000	4	21551750	117,3158	0		
VAR.RESIDUELLE 1	1837072	10	183707,2			428,6108	5,29%
Test significatif							

**Annexe 40 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Polyphénols totaux » du soja sous l'effet du gasoil.**

**Tableau 139 :** Analyses de polyphénols totaux des racines du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
P.phénols /racines ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	1560,94 $\pm$ 161	2103,23 $\pm$ 208	2269,10 $\pm$ 140	2469,01 $\pm$ 82	2547,69 $\pm$ 73		
Compar des moyennes	C	B	AB	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2048853	14	146346,7				
VAR.FACTEUR 1	1845882	4	461470,4	22,7357	0,00008		
VAR.RESIDUELLE 1	202971,6	10	20297,16			142,4681	6,51%
Test significatif							

**Tableau 140 :** Analyses de polyphénols totaux des feuilles du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
P.phénols /feuilles ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	1548,18 $\pm$ 74	1646,00 $\pm$ 25	1714,06 $\pm$ 39	1677,90 $\pm$ 3	1736,39 $\pm$ 27		
Compar des moyennes	B	A	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	82101,66	14	5864,405				
VAR.FACTEUR 1	65026,82	4	16256,71	9,5209	0,00211		
VAR.RESIDUELLE 1	17074,84	10	1707,484			41,3217	2,48%
Test significatif							

**Tableau 141 :** Analyses de polyphénols totaux des gains du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
P.phénols /gains ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	1954,36 $\pm$ 64	2103,23 $\pm$ 208	2641,26 $\pm$ 54	2443,49 $\pm$ 146	2651,90 $\pm$ 140		
Compar des moyennes	B	B	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1388819	14	99201,33				
VAR.FACTEUR 1	1205249	4	301312,3	16,4141	0,00028		
VAR.RESIDUELLE 1	183569,6	10	18356,96			135,4879	5,74%
Test significatif							

**Tableau 142 :** Analyses de polyphénols totaux des tiges du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
P.phénols /tiges ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	967,61±78	1359,97±30	1381,24±76	1503,52±17	1533,29±130		
Compar des moyennes	B	A	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	673864,8	14	48133,2				
VAR.FACTEUR 1	613373,5	4	153343,4	25,3497	0,00005		
VAR.RESIDUELLE 1	60491,25	10	6049,125			77,7761	5,76%
Test significatif							

**Annexe 41 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « flavonoïdes » du soja sous l'effet du gasoil.

**Tableau 143 :** Analyses de flavonoïdes des racines du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Flavonoïd/racines ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	95,03±18,57	167,57±2,23	176,48±2,64	215,72±20,68	169,27±7,17		
Compar des moyennes	C	B	B	A	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	24550,21	14	1753,587				
VAR.FACTEUR 1	22876,92	4	5719,23	34,1795	0,00002		
VAR.RESIDUELLE 1	1673,291	10	167,3291			12,9356	7,85%
Test significatif							

**Tableau 144 :** Analyses de flavonoïdes des feuilles du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Flavonoïd/feuilles ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	170,54±12,1	206,28±12,37	228,13±39,1	284,13±27,04	247,65±23,06		
Compar des moyennes	C	BC	B	A	AB		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	28117,28	14	2008,377				
VAR.FACTEUR 1	21923,51	4	5480,876	8,849	0,00274		
VAR.RESIDUELLE 1	6193,771	10	619,3771			24,8873	10,95%
Test significatif							

**Tableau 145 :** Analyses de flavonoïdes des gains du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Flavonoïd/gains ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	96,93±13,65	199,39±8,59	208,93±22,9	207,03±16,54	268,33±33,98		
Compar des moyennes	C	B	B	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	50470,16	14	3605,011				
VAR.FACTEUR 1	46036,95	4	11509,24	25,9614	0,00005		
VAR.RESIDUELLE 1	4433,211	10	443,3211			21,0552	10,74%
Test significatif							

**Tableau 146 :** Analyses de flavonoïdes des tiges du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
Flavonoïd/tiges ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	244,15±11,2	221,66±3,92	207,77±19,7	196,31±6,36	163,33±6,84		
Compar des moyennes	A	B	BC	C	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	12085,37	14	863,241				
VAR.FACTEUR 1	10848,63	4	2712,156	21,9297	0,00009		
VAR.RESIDUELLE 1	1236,749	10	123,6749			11,1209	5,38%
Test significatif							

**Annexe 42 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH » du soja sous l'effet du gasoil.

**Tableau 147 :** Analyses de DPPH des racines du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
DPPH/racines (%)	56,44±1,33	60,87±3,97	64,65±4,61	64,73±1,06	72,94±1,69		
Compar des moyennes	C	BC	B	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,0529	14	0,0038				
VAR.FACTEUR 1	0,0444	4	0,0111	12,9745	0,00068		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0086	10	0,0009			0,0292	4,57%
Test significatif							

**Tableau 148 :** Analyses de DPPH des feuilles du soja stressé au gasoil.

Les doses	Tem	G 0,125%	G 0,25%	G 0,375%	G 0,5%		
DPPH/feuilles (%)	69,16±3,08	72,86±5,92	79,87±2,06	87,92±1,69	90,9±1,24		
Compar des moyennes	C	C	B	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,1156	14	0,0083				
VAR.FACTEUR 1	0,105	4	0,0262	24,6884	0,00006		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0106	10	0,0011			0,0326	4,07%
Test significatif							

**Annexe 43 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Cinétique de longueur** » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 149 :** Analyses de la cinétique de longueur de l'orge stressée à l'huile (après 15 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de longueur (15J) (cm)	19±1	17,2±0,7	16,2±0,2	16±2	12,83±1,60		
Comparaison des moyennes	A	A	A	A	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	76,837	14	5,488				
VAR.FACTEUR 1	60,611	4	15,153	9,338	0,00226		
VAR.RESIDUELLE 1	16,227	10	1,623			1,274	7,84%
Test significatif							

**Tableau 150 :** Analyses de la cinétique de longueur de l'orge stressée à l'huile (après 21 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de longueur (21J) (cm)	34,4±2,4	20,3±2,3	19,3±2,3	19,4±3,4	15,1±1,1		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	711,8	14	50,843				
VAR.FACTEUR 1	653,58	4	163,395	28,065	0,00004		
VAR.RESIDUELLE 1	58,22	10	5,822			2,413	11,12%
Test significatif							

**Tableau 151 :** Analyses de la cinétique de longueur de l'orge stressée à l'huile (après 35 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de longueur (35J) (cm)	45,4±4,4	24,9±1,9	22,9±1,9	21,7±1,7	17,4±1,4		
Comparaison des moyennes	A	B	BC	BC	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1498,576	14	107,041				
VAR.FACTEUR 1	1435,716	4	358,929	57,1	0		
VAR.RESIDUELLE 1	62,86	10	6,286			2,507	9,48%

**Tableau 152 :** Analyses de la cinétique de longueur de l'orge stressée à l'huile (après 42 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de longueur (42J) (cm)	49,5±4,5	25,5±1,5	23,8±2	22,2±2	17,7±1,2		
Comparaison des moyennes	A	B	B	BC	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1940,476	14	138,606				
VAR.FACTEUR 1	1876,596	4	469,149	73,442	0		
VAR.RESIDUELLE 1	63,88	10	6,388			2,527	9,11%

**Tableau 153 :** Analyses de la cinétique de longueur de l'orge stressée à l'huile (après 49 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de longueur (49J) (cm)	58,5±6	31,1±4	24,6±2	29,8±4	22,3±2		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2698,437	14	192,746				
VAR.FACTEUR 1	2546,437	4	636,609	41,882	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	152	10	15,2			3,899	11,72%

**Tableau 154 :** Analyses de la cinétique de longueur de l'orge stressée à l'huile (après 56 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de longueur (56J) (cm)	62,3±5	43,6±3,6	39,7±2	38,5±2,5	30±2		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1822,905	14	130,208				
VAR.FACTEUR 1	1718,485	4	429,621	41,144	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	104,42	10	10,442			3,231	7,55%
Test significatif							

**Annexe 44 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « Cinétique de nombre de feuilles » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 155 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressée à l'huile (15 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (15J)	2±0	2±0	2±0	1,66±0,57	1,66±0,57		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1,733	14	0,124				
VAR.FACTEUR 1	0,4	4	0,1	0,75	0,58171		
VAR.RESIDUELLE 1	1,333	10	0,133			0,365	19,56%
Test non significatif							

**Tableau 156 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressée à l'huile (21 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (21J)	4±1	3,33±0,57	2,33±0,57	2,33±0,57	2±0		
Comparaison des moyennes	A	AB	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	12,4	14	0,886				
VAR.FACTEUR 1	8,4	4	2,1	5,25	0,01557		
VAR.RESIDUELLE 1	4	10	0,4			0,632	22,59%
Test significatif							

**Tableau 157 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressée à l'huile (28 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (28J)	6,33±0,57	3,66±0,57	3±0	2,66±0,57	2,33±0,57		
Comparaison des moyennes	A	B	BC	BC	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	33,6	14	2,4				
VAR.FACTEUR 1	30,933	4	7,733	29	0,00003		
VAR.RESIDUELLE 1	2,667	10	0,267			0,516	14,34%
Test significatif							

**Tableau 158 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressée à l'huile (35 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (35J)	12±1	5±1	4,33±0,57	4±0	3,66±0,57		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	152,4	14	10,886				
VAR.FACTEUR 1	147,067	4	36,767	68,938	0		
VAR.RESIDUELLE 1	5,333	10	0,533			0,73	12,59%
Test significatif							

**Tableau 159 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressée à l'huile (42 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (42J)	17±1	6,33±0,57	5±0	5,66±0,57	4,66±0,57		
Comparaison des moyennes	A	B	BC	BC	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	330,933	14	23,638				
VAR.FACTEUR 1	326,933	4	81,733	204,333	0		
VAR.RESIDUELLE 1	4	10	0,4			0,632	8,18%
Test significatif							

**Tableau 160 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressée à l'huile (49 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (49J)	18±1	8±1	6,66±0,57	7±0	6±0		
Comparaison des moyennes	A	B	BC	BC	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	305,733	14	21,838				
VAR.FACTEUR 1	301,067	4	75,267	161,286	0		
VAR.RESIDUELLE 1	4,667	10	0,467			0,683	7,48%

**Tableau 161 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles de l'orge stressée à l'huile (56 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (56J)	19±1	9,33±0,57	8±0	8±0	7,66±0,57		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	285,6	14	20,4				
VAR.FACTEUR 1	282,267	4	70,567	211,699	0		
VAR.RESIDUELLE 1	3,333	10	0,333			0,577	5,55%

**Annexe 45 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Surface foliaire totale** » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 162 :** Analyses de la surface foliaire totale de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Surf fol totale (cm <sup>2</sup> )	148,55±25,4	26,96±11,30	33,13±6,28	32,76±8,34	23,11±4,37		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	38139,07	14	2724,219				
VAR.FACTEUR 1	34517,36	4	8629,34	23,8267	0,00007		
VAR.RESIDUELLE 1	3621,715	10	362,1715			19,0308	35,97%

**Annexe 46 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Longueur aérienne, racinaire et totale » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 163 :** Analyses de la longueur totale de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Longueur totale (cm)	102±2,64	74,66±2,08	63,66±1,52	57±2,64	52,33±2,51		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	E		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4754,934	14	339,6381				
VAR.FACTEUR 1	4700,934	4	1175,233	217,6358	0		
VAR.RESIDUELLE 1	54	10	5,4			2,3238	3,32%
Test significatif							

**Tableau 164 :** Analyses de la longueur aérienne de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Longueur aérienne (cm)	66,66±3,51	50,66±0,57	43,33±1,15	42,33±1,52	36,66±3,05		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1664,933	14	118,9238				
VAR.FACTEUR 1	1613,6	4	403,4	78,5844	0		
VAR.RESIDUELLE 1	51,3334	10	5,1333			2,2657	4,73%
Test significatif							

**Tableau 165 :** Analyses de la longueur racinaire de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Longueur racinaire (cm)	35,33±2,51	24±2	20,33±0,57	14,66±1,52	16±0		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	848,9333	14	60,6381				
VAR.FACTEUR 1	822,9333	4	205,7333	79,1282	0		
VAR.RESIDUELLE 1	26	10	2,6			1,6125	7,31%
Test significatif							

**Annexe 47 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Poids frais aérien, racinaire et totale » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 166 :** Analyses du poids frais total de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Poids frais total (g)	6,7±0,1	3,43±0,13	2,86±0,02	2,69±0,08	2,24±0,05		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	E		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	38,6222	14	2,7587				
VAR.FACTEUR 1	38,544	4	9,636	1233,289	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0781	10	0,0078			0,0884	2,47%
Test significatif							

**Tableau 167 :** Analyses du poids frais aérien de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Poids frais aérien (g)	4,46±0,30	1,78±0,08	1,26±0,05	1,16±0,05	0,85±0,04		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	26,0994	14	1,8642				
VAR.FACTEUR 1	25,883	4	6,4708	299,1106	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,2163	10	0,0216			0,1471	7,71%
Test significatif							

**Tableau 168 :** Analyses du poids frais racinaire de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Poids frais racinaire (g)	2,23±0,20	1,64±0,05	1,59±0,07	1,52±0,10	1,38±0,01		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1,4002	14	0,1				
VAR.FACTEUR 1	1,2737	4	0,3184	25,1646	0,00005		
VAR.RESIDUELLE 1	0,1265	10	0,0127			0,1125	6,71%
Test significatif							

**Annexe 48 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Poids sec aérien, racinaire et totale » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 169 :** Analyses du poids sec total de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Poids sec total (g)	2±0,12	1,03±0,02	0,68±0,02	0,62±0,01	0,39±0,03		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4,8149	14	0,3439				
VAR.FACTEUR 1	4,7785	4	1,1946	328,1974	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0364	10	0,0036			0,0603	6,37%
Test significatif							

**Tableau 170 :** Analyses du poids sec aérien de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Poids sec aérien (g)	1,73±0,15	0,83±0,02	0,46±0,03	0,42±0,02	0,21±0,01		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4,4142	14	0,3153				
VAR.FACTEUR 1	4,3628	4	1,0907	212,4755	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0513	10	0,0051			0,0716	9,80%
Test significatif							

**Tableau 171 :** Analyses du poids sec racinaire de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Poids sec racinaire (g)	0,26±0,03	0,2±0,02	0,22±0,01	0,20±0,02	0,18±0,02		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,0164	14	0,0012				
VAR.FACTEUR 1	0,0116	4	0,0029	6,0278	0,01008		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0048	10	0,0005			0,0219	10,17%
Test significatif							

**Annexe 49 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Teneur relative en eau RWC » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 172 :** Analyses de la teneur relative en eau RWC de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
RWC (%)	78,34±2,28	87,33±4,37	89,43±4,31	90,11±2,15	81,80±6,79		
Comparaison des moyennes	B	AB	A	A	AB		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	502,2838	14	35,8774				
VAR.FACTEUR 1	314,9395	4	78,7349	4,2027	0,02999		
VAR.RESIDUELLE 1	187,3443	10	18,7344			4,3283	5,07%

**Annexe 50 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Taux de déperdition d'eau RWL » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 173 :** Analyses du taux de déperdition d'eau RWL<sub>30</sub> de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
RWL <sub>30</sub> (g.cm <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup> )	0,003±0,0008	0,006±0,0048	0,0024±0,0009	0,0032±0,0015	0,0075±0,0032		
Comp des moy	/	/	/	/	/		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,0001	14	0				
VAR.FACTEUR 1	0,0001	4	0	2,0353	0,16464		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0001	10	0			0,0027	61,67%

**Tableau 174 :** Analyses du taux de déperdition d'eau RWL<sub>60</sub> de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
RWL <sub>60</sub> g.cm <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup>	0,0021±0,0005	0,0061±0,0047	0,0025±0,0009	0,003±0,0012	0,0066±0,0026		
Comp des moy	/	/	/	/	/		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,0001	14	0				
VAR.FACTEUR 1	0,0001	4	0	2,1614	0,14681		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0001	10	0			0,0025	61,49%

**Tableau 175 :** Analyses du taux de déperdition d'eau  $RWL_{120}$  de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
$RWL_{120}$ (g.cm <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup> )	0,0015±0,0003	0,0054±0,003	0,0022±0,0008	0,0026±0,001	0,0057±0,0018		
Comp des moy	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,0001	14	0				
VAR.FACTEUR 1	0	4	0	2,9806	0,07328		
VAR.RESIDUELLE 1	0	10	0			0,0019	55,26%
Test non significatif							

**Annexe 51 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Matière sèche MS » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 176 :** Analyses de la matière sèche MS de la feuille de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
MS de feuille (%)	27,78±1,05	25,09±3,84	19,46±2,95	20,29±1,77	19,30±1,34		
Comparaison des moyennes	A	AB	B	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	235,9387	14	16,8528				
VAR.FACTEUR 1	176,7392	4	44,1848	7,4637	0,00496		
VAR.RESIDUELLE 1	59,1995	10	5,9199			2,4331	10,87%
Test significatif							

**Tableau 177 :** Analyses de la matière sèche MS de la plante totale de l'orge stressée à l'huile.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
MS de plante totale (%)	29,87±2,30	30,05±0,92	23,89±1,10	23,14±0,35	17,66±1,27		
Comparaison des moyennes	A	A	B	B	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	341,3339	14	24,381				
VAR.FACTEUR 1	323,0954	4	80,7738	44,2876	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	18,2385	10	1,8238			1,3505	5,42%
Test significatif							

**Tableau 178 :** Analyses de la matière sèche MS de la partie aérienne de l'orge stressée à l'huile.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
MS de partie aérienne (%)	39,06±5,96	46,53±2,70	36,55±1,66	36,01±0,88	24,49±1,01		
Comparaison des moyennes	B	A	B	B	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	849,9398	14	60,71				
VAR.FACTEUR 1	754,9984	4	188,7496	19,8806	0,00013		
VAR.RESIDUELLE 1	94,9414	10	9,4941			3,0813	8,43%
Test significatif							

**Tableau 179 :** Analyses de la matière sèche MS de la partie racinaire de l'orge stressée à l'huile.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
MS de partie racinaire (%)	12,10±2,59	12,15±0,81	13,80±0,17	13,31±1,14	13,45±1,36		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	28,6531	14	2,0467				
VAR.FACTEUR 1	7,4422	4	1,8606	0,8772	0,51225		
VAR.RESIDUELLE 1	21,2109	10	2,1211			1,4564	11,23%
Test non significatif							

**Annexe 52 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre «Déficit hydrique de saturation DHS» de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 180 :** Analyses du déficit hydrique de saturation (DHS) de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
DHS (%)	21,65±2,28	12,66±4,37	10,56±4,31	9,88±2,15	18,19±6,79		
Comparaison des moyennes	A	AB	B	B	AB		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	502,2831	14	35,8774				
VAR.FACTEUR 1	314,9393	4	78,7348	4,2027	0,02999		
VAR.RESIDUELLE 1	187,3438	10	18,7344			4,3283	29,66%
Test significatif							

**Annexe 53 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Chlorophylle » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 181 :** Analyses de la chlorophylle (a) de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Chl a ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	1239,21 $\pm$ 37,49	973,34 $\pm$ 117,3	499,31 $\pm$ 62,25	494,28 $\pm$ 43,90	334,54 $\pm$ 59,49		
Comp des moy	A	B	C	C	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1792902	14	128064,4				
VAR.FACTEUR 1	1743851	4	435962,6	88,879	0		
VAR.RESIDUELLE 1	49051,25	10	4905,125			70,0366	9,89%
Test significatif							

**Tableau 182 :** Analyses de la chlorophylle (b) de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Chl b ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	952,47 $\pm$ 53,44	642,41 $\pm$ 159,2	303,92 $\pm$ 41,59	251,29 $\pm$ 27,51	346,82 $\pm$ 8,00		
Comp des moy	A	B	C	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1107888	14	79134,85				
VAR.FACTEUR 1	1046324	4	261580,9	42,489	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	61564,38	10	6156,438			78,463	15,71%
Test significatif							

**Tableau 183 :** Analyses de la chlorophylle totale (a+b) de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Chl a+b ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	2161,62 $\pm$ 89,52	1594,34 $\pm$ 45,68	792,78 $\pm$ 102,4	736,25 $\pm$ 70,47	671,39 $\pm$ 66,81		
Comp des moy	A	B	C	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5280549	14	377182,1				
VAR.FACTEUR 1	5220487	4	1305122	217,2939	0		
VAR.RESIDUELLE 1	60062,5	10	6006,25			77,5	6,51%
Test significatif							

**Tableau 184 :** Analyses de caroténoïdes/xanthophylles de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Carot/xant ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	1065,53±34,98	766,52±43,85	359,56±34,75	347,73±51,61	324,39±27,52		
Comp des moy	A	B	C	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1329985	14	94998,89				
VAR.FACTEUR 1	1314430	4	328607,4	211,2586	0		
VAR.RESIDUELLE 1	15554,75	10	1555,475			39,4395	6,89%
Test significatif							

**Annexe 54 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Protéines totales** » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 185 :** Analyses de protéines totales des racines de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Protéines des racines ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	34,74±5,24	28,87±0,49	26,15±1,87	20,19±2,84	19,25±0,61		
Comparaison des moyennes	A	B	B	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	570,8156	14	40,7725				
VAR.FACTEUR 1	491,2198	4	122,805	15,4286	0,00035		
VAR.RESIDUELLE 1	79,5958	10	7,9596			2,8213	10,92%
Test significatif							

**Tableau 186 :** Analyses de protéines totales des feuilles de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Protéines des feuilles ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	76,18±4,85	68,01±6,33	45,35±1,61	44,34±2,63	39,39±3,70		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3377,647	14	241,2605				
VAR.FACTEUR 1	3203,744	4	800,9361	46,0566	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	173,9026	10	17,3903			4,1702	7,63%
Test significatif							

**Annexe 55 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Sucres solubles totaux » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 187 :** Analyses de sucres solubles totaux des racines de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Sucres de racines (mg.g <sup>-1</sup> )	21,76±0,69	18,91±1,10	24,84±0,86	25,75±3,13	28,52±2,70		
Comparaison des moyennes	BC	C	AB	AB	A		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	204,6722	14	14,6194				
VAR.FACTEUR 1	165,5041	4	41,376	10,5637	0,00145		
VAR.RESIDUELLE 1	39,1681	10	3,9168			1,9791	8,26%

**Tableau 188 :** Analyses de sucres solubles totaux des feuilles de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Sucres de feuilles (mg.g <sup>-1</sup> )	97,25±5,29	67,90±5,25	56,50±3,65	49,28±8,83	35,56±3,16		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	D		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	6814,083	14	486,7202				
VAR.FACTEUR 1	6499,924	4	1624,981	51,7248	0		
VAR.RESIDUELLE 1	314,1592	10	31,4159			5,605	9,14%

**Tableau 189 :** Analyses de sucres solubles totaux des gains de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Sucres de gains (mg.g <sup>-1</sup> )	51,49±5,35	30,00±1,21	29,42±0,26	40,47±4,88	20,72±4,69		
Comparaison des moyennes	A	C	C	B	D		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1833,364	14	130,9546				
VAR.FACTEUR 1	1681,036	4	420,259	27,589	0,00004		
VAR.RESIDUELLE 1	152,3282	10	15,2328			3,9029	11,34%

**Tableau 190 :** Analyses de sucres solubles totaux des tiges de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Sucres de tiges (mg.g <sup>-1</sup> )	74,27±7,88	104,04±8,58	108,01±5,78	110,19±10,31	118,28±9,85		
Comparaison des moyennes	B	A	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4154,924	14	296,7803				
VAR.FACTEUR 1	3409,714	4	852,4285	11,4388	0,00108		
VAR.RESIDUELLE 1	745,2097	10	74,521			8,6326	8,38%
Test significatif							

**Annexe 56 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Proline** » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 191 :** Analyses de la proline des racines de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Proline des racines (mg.g <sup>-1</sup> )	2,18±0,03	3,43±0,74	3,53±0,56	4,91±0,47	6,29±0,97		
Comparaison des moyennes	C	C	C	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	33785640	14	2413260				
VAR.FACTEUR 1	29684530	4	7421132	18,0954	0,00019		
VAR.RESIDUELLE 1	4101114	10	410111,4			640,3994	15,72%
Test significatif							

**Tableau 192 :** Analyses de la proline des feuilles de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Proline des feuilles (mg.g <sup>-1</sup> )	3,27±0,17	4,80±0,45	7,26±1,37	14,34±0,70	16,78±2,21		
Comparaison des moyennes	D	D	C	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	441244800	14	31517480				
VAR.FACTEUR 1	426176800	4	106544200	70,7092	0		
VAR.RESIDUELLE 1	15067940	10	1506794			1227,515	13,21%
Test significatif							

**Tableau 193 :** Analyses de la proline des gains de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Proline des gains (mg.g <sup>-1</sup> )	3,00±0,16	5,86±0,97	5,93±0,35	9,51±1,19	14,87±0,65		
Comparaison des moyennes	D	C	C	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	255520200	14	18251450				
VAR.FACTEUR 1	249592800	4	62398190	105,2692	0		
VAR.RESIDUELLE 1	5927488	10	592748,8			769,9018	9,82%
Test significatif							

**Tableau 194 :** Analyses de la proline des tiges de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Proline des tiges (mg.g <sup>-1</sup> )	6,49±0,67	6,44±1,46	7,48±0,74	11,19±0,93	25,48±3,03		
Comparaison des moyennes	C	C	C	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	813784400	14	58127460				
VAR.FACTEUR 1	787237100	4	196809300	74,1354	0		
VAR.RESIDUELLE 1	26547260	10	2654727			1629,333	14,26%
Test significatif							

**Annexe 57 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Polyphénols totaux** » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 195 :** Analyses de polyphénols totaux des racines de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
P.phénols /racines (µg.g <sup>-1</sup> )	4499,93±306	3400,47±140	3183,55±229	2915,60±136	2707,19±181		
Compar des moyennes	A	B	BC	CD	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	6298556	14	449896,8				
VAR.FACTEUR 1	5862412	4	1465603	33,6037	0,00002		
VAR.RESIDUELLE 1	436144	10	43614,4			208,8406	6,25%
Test significatif							

**Tableau 196 :** Analyses de polyphénols totaux des feuilles de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
P.phénols /feuilles ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	3582,30 $\pm$ 513	3962,96 $\pm$ 27	4014,00 $\pm$ 62	3792,83 $\pm$ 79	4128,84 $\pm$ 71		
Compar des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1103754	14	78839,56				
VAR.FACTEUR 1	545026,6	4	136256,6	2,4387	0,11493		
VAR.RESIDUELLE 1	558727,3	10	55872,73			236,3741	6,07%
Test non significatif							

**Tableau 197 :** Analyses de polyphénols totaux des gains de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
P.phénols /gains ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	3223,96 $\pm$ 408	4697,71 $\pm$ 269	5018,83 $\pm$ 333	5116,66 $\pm$ 159	5301,67 $\pm$ 197		
Compar des moyennes	B	A	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	9266933	14	661923,8				
VAR.FACTEUR 1	8435944	4	2108986	25,3792	0,00005		
VAR.RESIDUELLE 1	830989	10	83098,9			288,2688	6,17%
Test significatif							

**Tableau 198 :** Analyses de polyphénols totaux des tiges de l'orge stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
P.phénols /tiges ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	3172,92 $\pm$ 71	3177,17 $\pm$ 285	3432,37 $\pm$ 248	3553,59 $\pm$ 88	3605,69 $\pm$ 120		
Compar des moyennes	A	A	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	843977,1	14	60284,07				
VAR.FACTEUR 1	502446,4	4	125611,6	3,6779	0,04319		
VAR.RESIDUELLE 1	341530,7	10	34153,07			184,8055	5,45%
Test significatif							

**Annexe 58 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « flavonoïdes » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.****Tableau 199 :** Analyses de flavonoïdes des racines de l'orge stressées à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Flavonoïd/racines ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	85,27±19,12	90,36±23,54	101,39±2,23	94,18±2,54	99,90±18,54		
Compar des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3086,973	14	220,4981				
VAR.FACTEUR 1	536,2754	4	134,0688	0,5256	0,72141		
VAR.RESIDUELLE 1	2550,698	10	255,0698			15,9709	16,95%
Test non significatif							

**Tableau 200 :** Analyses de flavonoïdes des feuilles de l'orge stressées à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Flavonoïd/feuilles ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	305,45±20,3	340,34±17,46	353,60±22,1	389,45±33,26	409,92±30,16		
Compar des moyennes	C	BC	ABC	AB	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	26738,52	14	1909,894				
VAR.FACTEUR 1	20285,91	4	5071,477	7,8596	0,00415		
VAR.RESIDUELLE 1	6452,609	10	645,2609			25,402	7,06%
Test significatif							

**Tableau 201 :** Analyses de flavonoïdes des gains de l'orge stressées à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Flavonoïd/gains ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	71,69±14,98	83,36±10,10	128,33±11,8	151,24±13,83	188,36±27,36		
Compar des moyennes	C	C	B	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	30679,83	14	2191,416				
VAR.FACTEUR 1	27866,18	4	6966,544	24,7598	0,00006		
VAR.RESIDUELLE 1	2813,652	10	281,3652			16,7739	13,46%
Test significatif							

**Tableau 202 :** Analyses de flavonoïdes des tiges de l'orge stressées à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Flavonoïd/tiges ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	251,78 $\pm$ 39,9	280,42 $\pm$ 29,80	266,95 $\pm$ 20,0	296,43 $\pm$ 19,02	301,31 $\pm$ 14		
Compar des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	11950,42	14	853,6017				
VAR.FACTEUR 1	5067,335	4	1266,834	1,8405	0,19735		
VAR.RESIDUELLE 1	6883,09	10	688,309			26,2356	9,39%
Test non significatif							

**Annexe 59 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH » de l'orge sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 203 :** Analyses de DPPH des racines de l'orge stressées à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
DPPH/racines (%)	33,96 $\pm$ 3,79	20,49 $\pm$ 5,31	13,21 $\pm$ 3,89	9,61 $\pm$ 2,65	12,65 $\pm$ 0,57		
Compar des moyennes	A	B	BC	BC	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1279,103	14	91,3645				
VAR.FACTEUR 1	1148,76	4	287,1901	22,0334	0,00009		
VAR.RESIDUELLE 1	130,3429	10	13,0343			3,6103	20,07%
Test significatif							

**Tableau 204 :** Analyses de DPPH des feuilles de l'orge stressées à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
DPPH/feuilles (%)	76,85 $\pm$ 4,78	75,83 $\pm$ 2,28	64,70 $\pm$ 5,42	54,39 $\pm$ 3,70	69,76 $\pm$ 2,72		
Compar des moyennes	A	A	B	C	AB		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1172,364	14	83,7403				
VAR.FACTEUR 1	1014,946	4	253,7364	16,1186	0,0003		
VAR.RESIDUELLE 1	157,4186	10	15,7419			3,9676	5,81%
Test significatif							

**Tableau 205 :** Analyses de DPPH des gains de l'orge stressées à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
DPPH/gains (%)	73,05±3,96	72,92±4,80	75,71±4,66	77,98±3,16	80,45±1,99		
Compar des moyennes	/	/	/	/	/		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	275,1367	14	19,6526				
VAR.FACTEUR 1	125,9736	4	31,4934	2,1113	0,15361		
VAR.RESIDUELLE 1	149,1632	10	14,9163			3,8622	5,08%

**Tableau 206 :** Analyses de DPPH des tiges de l'orge stressées à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
DPPH/tiges (%)	65,08±5,50	68,24±0,47	72,23±3,21	72,99±1,42	74,50±1,80		
Compar des moyennes	B	AB	A	A	A		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	271,047	14	19,3605				
VAR.FACTEUR 1	178,847	4	44,7118	4,8494	0,0198		
VAR.RESIDUELLE 1	92,2	10	9,22			3,0364	4,30%

**Annexe 60 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Cinétique de longueur** » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 207 :** Analyses de la cinétique de longueur du soja stressé à l'huile de moteur (après 15 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de longueur (15J) (cm)	11,8±0,3	14,8±1	10,8±1,8	9,5±0,5	9,53±1,23		
Comparaison des moyennes	B	A	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	69,537	14	4,967				
VAR.FACTEUR 1	57,331	4	14,333	11,742	0,00098		
VAR.RESIDUELLE 1	12,207	10	1,221			1,105	9,79%

**Tableau 208** : Analyses de la cinétique de longueur du soja stressé à l'huile de moteur (après 21 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de longueur (21J) (cm)	20,3±1,3	19,9±1,9	18,8±1,8	17±3	17,6±1		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	61,404	14	4,386				
VAR.FACTEUR 1	24,324	4	6,081	1,64	0,23901		
VAR.RESIDUELLE 1	37,08	10	3,708			1,926	10,29%
Test non significatif							

**Tableau 209** : Analyses de la cinétique de longueur du soja stressées à l'huile (après 35 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de longueur (35J) (cm)	40,3±4	34±4	32,8±3	28,3±1	26,7±2		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	435,284	14	31,092				
VAR.FACTEUR 1	343,284	4	85,821	9,328	0,00227		
VAR.RESIDUELLE 1	92	10	9,2			3,033	9,36%
Test significatif							

**Tableau 210** : Analyses de la cinétique de longueur du soja stressées à l'huile (après 42 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de longueur (42J) (cm)	50,5±4	39,6±4	37,8±1	30,5±2,5	28±3		
Comparaison des moyennes	A	B	B	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1034,024	14	73,859				
VAR.FACTEUR 1	937,524	4	234,381	24,288	0,00006		
VAR.RESIDUELLE 1	96,5	10	9,65			3,106	8,33%
Test significatif							

**Tableau 211** : Analyses de la cinétique de longueur du soja stressé à l'huile de moteur (après 49 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de longueur (49J) (cm)	52,3±3	42±2	39±4	31,6±1,6	29,3±3		
Comparaison des moyennes	A	B	B	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1084,956	14	77,497				
VAR.FACTEUR 1	1003,836	4	250,959	30,937	0,00003		
VAR.RESIDUELLE 1	81,12	10	8,112			2,848	7,33%
Test significatif							

**Tableau 212** : Analyses de la cinétique de longueur du soja stressé à l'huile de moteur (après 56 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de longueur (56J) (cm)	53±3	42,1±2,1	40±4	32,5±2,5	29,6±2		
Comparaison des moyennes	A	B	B	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1088,076	14	77,72				
VAR.FACTEUR 1	1008,756	4	252,189	31,794	0,00002		
VAR.RESIDUELLE 1	79,32	10	7,932			2,816	7,14%
Test significatif							

**Annexe 61** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Cinétique de nombre de feuilles** » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 213** : Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressé à l'huile (15 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (15J)	4,33±0,57	4±0	4±0	4±0	3,66±0,57		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2	14	0,143				
VAR.FACTEUR 1	0,667	4	0,167	1,25	0,35138		
VAR.RESIDUELLE 1	1,333	10	0,133			0,365	9,13%
Test non significatif							

**Tableau 214 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressées à l'huile (21 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (21J)	9,66±0,57	7±0	7±0	6,66±0,57	6,33±0,57		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	23,333	14	1,667				
VAR.FACTEUR 1	21,333	4	5,333	26,667	0,00004		
VAR.RESIDUELLE 1	2	10	0,2			0,447	6,10%

**Tableau 215 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressées à l'huile (28 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (28J)	13±0	10±0	10±0	9,66±0,57	9,33±0,57		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	27,6	14	1,971				
VAR.FACTEUR 1	26,267	4	6,567	49,25	0		
VAR.RESIDUELLE 1	1,333	10	0,133			0,365	3,51%

**Tableau 216 :** Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressé à l'huile (35 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (35J)	16±1	10,33±0,57	10,33±0,57	10±0	10±0		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	85,333	14	6,095				
VAR.FACTEUR 1	82	4	20,5	61,5	0		
VAR.RESIDUELLE 1	3,333	10	0,333			0,577	5,09%

**Tableau 217** : Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressé à l'huile (42 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (42J)	18,33±0,57	12,66±0,57	11±0	10±0	10±0		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	147,6	14	10,543				
VAR.FACTEUR 1	146,267	4	36,567	274,251	0		
VAR.RESIDUELLE 1	1,333	10	0,133			0,365	2,94%
Test significatif							

**Tableau 218** : Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressé à l'huile (49 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (49J)	18,66±0,57	13±0	12,66±0,57	10±0	10±0		
Comparaison des moyennes	A	B	B	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	151,733	14	10,838				
VAR.FACTEUR 1	150,4	4	37,6	282,001	0		
VAR.RESIDUELLE 1	1,333	10	0,133			0,365	2,84%
Test significatif							

**Tableau 219** : Analyses de la cinétique de nombre de feuilles du soja stressé à l'huile (56 jours).

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Cin de nbre feuilles (56J)	19±0	13,33±0,57	13±0	12,66±0,57	10±0		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	131,6	14	9,4				
VAR.FACTEUR 1	130,267	4	32,567	244,251	0		
VAR.RESIDUELLE 1	1,333	10	0,133			0,365	2,68%
Test significatif							

**Annexe 62 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Surface foliaire totale » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 220 :** Analyses de la surface foliaire totale du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Surf fol totale (cm <sup>2</sup> )	576,01±78	231,44±16,1	233,96±16,8	186,27±16,7	133,03±15,5		
Comparaison des moyennes	A	B	B	BC	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	380872,9	14	27205,21				
VAR.FACTEUR 1	366535	4	91633,75	63,91	0		
VAR.RESIDUELLE 1	14337,94	10	1433,794			37,8655	13,91%
Test significatif							

**Annexe 63 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Longueur aérienne, racinaire et totale » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 221 :** Analyses de la longueur totale du soja stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Longueur totale (cm)	97,33±2,51	82,66±2,51	71,33±1,15	64,66±1,15	57,33±3,05		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	E		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3017,333	14	215,5238				
VAR.FACTEUR 1	2968	4	742,0001	150,4057	0		
VAR.RESIDUELLE 1	49,3333	10	4,9333			2,2211	2,97%
Test significatif							

**Tableau 222 :** Analyses de la longueur aérienne du soja stressée à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Longueur aérienne (cm)	62,66±0,57	44,33±0,57	41,66±1,52	35±2	34±3		
Comparaison des moyennes	A	B	B	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1633,733	14	116,6952				
VAR.FACTEUR 1	1601,733	4	400,4333	125,1354	0		
VAR.RESIDUELLE 1	32	10	3,2			1,7889	4,11%
Test significatif							

**Tableau 223 :** Analyses de la longueur racinaire du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Longueur racinaire (cm)	34,66±3,05	38,33±2,51	29,66±2,08	29,66±1,15	23,33±0,57		
Comparaison des moyennes	A	A	B	B	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	431,7333	14	30,8381				
VAR.FACTEUR 1	388,4	4	97,1	22,4077	0,00008		
VAR.RESIDUELLE 1	43,3333	10	4,3333			2,0817	6,69%

**Annexe 64 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Poids frais aérien, racinaire et totale** » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 224 :** Analyses du poids frais total du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Poids frais total (g)	13,16±0,21	6,08±0,09	4,73±0,28	4,15±0,20	3,06±0,17		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	E		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	194,3174	14	13,8798				
VAR.FACTEUR 1	193,9092	4	48,4773	1187,8	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,4081	10	0,0408			0,202	3,24%

**Tableau 225 :** Analyses du poids frais aérien du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Poids frais aérien (g)	10,46±0,10	3,50±0,10	2,72±0,34	2,43±0,23	1,87±0,26		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	D		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	151,9355	14	10,8525				
VAR.FACTEUR 1	151,4068	4	37,8517	715,9366	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,5287	10	0,0529			0,2299	5,47%

**Tableau 226 :** Analyses du poids frais racinaire du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Poids frais racinaire (g)	2,69±0,11	2,58±0,14	2,00±0,06	1,72±0,03	1,19±0,10		
Comparaison des moyennes	A	A	B	C	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4,7187	14	0,337				
VAR.FACTEUR 1	4,6168	4	1,1542	113,3056	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,1019	10	0,0102			0,1009	4,95%
Test significatif							

**Annexe 65 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Poids sec aérien, racinaire et totale** » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 227 :** Analyses du poids sec total du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Poids sec total (g)	2,86±0,15	1,22±0,04	1,02±0,03	0,85±0,04	0,56±0,01		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	E		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	9,8438	14	0,7031				
VAR.FACTEUR 1	9,7871	4	2,4468	431,5035	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0567	10	0,0057			0,0753	5,77%
Test significatif							

**Tableau 228 :** Analyses du poids sec aérien du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Poids sec aérien (g)	2,46±0,17	0,87±0,06	0,72±0,06	0,61±0,06	0,35±0,02		
Comparaison des moyennes	A	B	BC	C	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	8,4759	14	0,6054				
VAR.FACTEUR 1	8,394	4	2,0985	256,1238	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0819	10	0,0082			0,0905	9,02%
Test significatif							

**Tableau 229** : Analyses du poids sec racinaire du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Poids sec racinaire (g)	0,4±0,02	0,35±0,01	0,3±0,02	0,23±0,02	0,21±0,01		
Comparaison des moyennes	A	B	C	D	D		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,0771	14	0,0055				
VAR.FACTEUR 1	0,0731	4	0,0183	45,6833	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	0,004	10	0,0004			0,02	6,65%
Test significatif							

**Annexe 66** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Teneur relative en eau RWC » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.**Tableau 230** : Analyses de la teneur relative en eau RWC du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
RWC (%)	71,62±2,46	74,39±4,80	71,22±4,52	70,43±4,44	70,34±2,34		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	182,4208	14	13,0301				
VAR.FACTEUR 1	32,7177	4	8,1794	0,5464	0,70775		
VAR.RESIDUELLE 1	149,7031	10	14,9703			3,8691	5,40%
Test non significatif							

**Annexe 67** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Taux de déperdition d'eau RWL » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.**Tableau 231** : Analyses du taux de déperdition d'eau RWL<sub>30</sub> du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
RWL <sub>30</sub> (g.cm <sup>-2</sup> .min <sup>-1</sup> )	0,0005±0	0,0012±0,0001	0,0013±0,0003	0,0014±0,0003	0,0019±0,0001		
Comp des moy	C	B	B	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0	14	0				
VAR.FACTEUR 1	0	4	0	18,4583	0,00018		
VAR.RESIDUELLE 1	0	10	0			0,0002	15,79%
Test significatif							

**Tableau 232 :** Analyses du taux de déperdition d'eau  $RWL_{60}$  du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
$RWL_{60} \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$	0,0004±0,0001	0,0011±0,0002	0,0012±0,0002	0,0013±0,0003	0,0016±0		
Comp des moy	C	B	B	AB	A		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0	14	0				
VAR.FACTEUR 1	0	4	0	17,7128	0,00021		
VAR.RESIDUELLE 1	0	10	0			0,0002	15,62%

**Tableau 233 :** Analyses du taux de déperdition d'eau  $RWL_{120}$  du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
$RWL_{120} \text{ g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$	0,0003±0,0001	0,0008±0,0001	0,001±0,0002	0,0011±0,0004	0,0014±0,0001		
Comp des moy	C	B	AB	AB	A		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0	14	0				
VAR.FACTEUR 1	0	4	0	11,8455	0,00095		
VAR.RESIDUELLE 1	0	10	0			0,0002	20,81%

**Annexe 68 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « Matière sèche MS » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 234 :** Analyses de la matière sèche MS de la feuille du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
MS de feuille (%)	21,56±2,47	16,42±2,12	16,17±2,20	16,85±1,12	16,34±1,52		
Comparaison des moyennes	A	B	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	101,7519	14	7,268				
VAR.FACTEUR 1	63,5796	4	15,8949	4,164	0,03078		
VAR.RESIDUELLE 1	38,1723	10	3,8172			1,9538	11,18%

**Tableau 235** : Analyses de la matière sèche MS de la plante totale du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
MS de plante totale (%)	21,73±1,25	20,15±0,61	21,57±0,88	20,44±0,13	18,38±0,52		
Comparaison des moyennes	A	A	A	A	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	27,8009	14	1,9858				
VAR.FACTEUR 1	21,7651	4	5,4413	9,0149	0,00256		
VAR.RESIDUELLE 1	6,0359	10	0,6036			0,7769	3,80%
Test significatif							

**Tableau 236** : Analyses de la matière sèche MS de la partie aérienne du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
MS de partie aérienne (%)	23,50±1,64	24,90±1,56	26,59±3,10	25,24±0,70	18,80±1,40		
Comparaison des moyennes	A	A	A	A	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	142,9874	14	10,2134				
VAR.FACTEUR 1	108,4286	4	27,1072	7,8438	0,00418		
VAR.RESIDUELLE 1	34,5588	10	3,4559			1,859	7,81%
Test significatif							

**Tableau 237** : Analyses de la matière sèche MS de la partie racinaire du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
MS de partie racinaire (%)	14,84±0,80	13,73±1,10	14,96±1,48	13,69±0,94	17,91±0,81		
Comparaison des moyennes	B	B	B	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	46,6895	14	3,335				
VAR.FACTEUR 1	35,4263	4	8,8566	7,8633	0,00414		
VAR.RESIDUELLE 1	11,2632	10	1,1263			1,0613	7,06%
Test significatif							

**Annexe 69 : Traitements statistiques des résultats du paramètre «Déficit hydrique de saturation DHS» du soja sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 238 :** Analyses du déficit hydrique de saturation (DHS) du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
DHS (%)	28,37±2,46	25,60±4,80	28,77±4,52	29,56±4,44	29,65±2,34		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	182,4207	14	13,0301				
VAR.FACTEUR 1	32,7178	4	8,1794	0,5464	0,70775		
VAR.RESIDUELLE 1	149,703	10	14,9703			3,8691	13,63%
Test non significatif							

**Annexe 70 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Chlorophylle » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 239 :** Analyses de la chlorophylle (a) du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Chl a (µg.g <sup>-1</sup> )	677,66±94,27	447,51±228,8	342,96±21,16	314,43±51,07	247,69±31,96		
Comp des moy	A	B	B	B	B		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	469490,6	14	33535,04				
VAR.FACTEUR 1	338823,1	4	84705,77	6,4825	0,00795		
VAR.RESIDUELLE 1	130667,6	10	13066,76			114,3099	28,15%
Test significatif							

**Tableau 240 :** Analyses de la chlorophylle (b) du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Chl b (µg.g <sup>-1</sup> )	344,30±15,55	280,96±99,79	199,42±4,03	154,93±26,94	152,10±31,36		
Comp des moy	A	AB	BC	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	108558,5	14	7754,18				
VAR.FACTEUR 1	84705,74	4	21176,44	8,878	0,00271		
VAR.RESIDUELLE 1	23852,77	10	2385,277			48,8393	21,58%
Test significatif							

**Tableau 241 :** Analyses de la chlorophylle totale (a+b) du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Chl a+b ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	1009,19±107	718,93±323	535,40±17	463,53±71	394,58±58		
Comp des moy	A	B	B	B	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	981294,8	14	70092,48				
VAR.FACTEUR 1	730848,1	4	182712	7,2954	0,00536		
VAR.RESIDUELLE 1	250446,6	10	25044,66			158,2551	25,35%

**Tableau 242 :** Analyses de caroténoïdes/xanthophylles du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Carot/xant ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	436,69±15,30	365,87±144,5	264,83±16,18	201,37±15,62	196,20±9,37		
Comp des moy	A	AB	BC	C	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	176981,3	14	12641,52				
VAR.FACTEUR 1	133546,9	4	33386,72	7,6867	0,00448		
VAR.RESIDUELLE 1	43434,47	10	4343,447			65,9048	22,49%

**Annexe 71 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Protéines totales** » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 243 :** Analyses de protéines totales des racines du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Protéines des racines ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	23,63±1,17	50,67±1,75	51,73±2,34	51,08±2,93	50,55±2,34		
Comparaison des moyennes	B	A	A	A	A		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1849,272	14	132,0909				
VAR.FACTEUR 1	1801,113	4	450,2783	93,4977	0		
VAR.RESIDUELLE 1	48,1593	10	4,8159			2,1945	4,82%

**Tableau 244** : Analyses de protéines totales des feuilles du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Protéines des feuilles (mg.g <sup>-1</sup> )	42,32±3,60	31,96±3,28	24,04±3,04	22,52±1,32	18,70±1,84		
Comparaison des moyennes	A	B	C	C	C		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1135,115	14	81,0797				
VAR.FACTEUR 1	1058,629	4	264,6571	34,6018	0,00002		
VAR.RESIDUELLE 1	76,4866	10	7,6487			2,7656	9,91%
Test significatif							

**Annexe 72** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Sucres solubles totaux** » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 245** : Analyses de sucres solubles totaux des racines du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Sucres de racines (mg.g <sup>-1</sup> )	20,71±1,15	12,13±0,30	19,88±0,22	15,07±1,02	20,35±1,90		
Comparaison des moyennes	A	C	A	B	A		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	188,593	14	13,4709				
VAR.FACTEUR 1	176,2502	4	44,0625	35,699	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	12,3428	10	1,2343			1,111	6,30%
Test significatif							

**Tableau 246** : Analyses de sucres solubles totaux des feuilles du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Sucres de feuilles (mg.g <sup>-1</sup> )	100,23±5,61	45,38±7,10	26,96±0,28	37,50±2,35	50,76±1,40		
Comparaison des moyennes	A	B	D	C	B		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	9804,384	14	700,3131				
VAR.FACTEUR 1	9625,148	4	2406,287	134,2529	0		
VAR.RESIDUELLE 1	179,2354	10	17,9235			4,2336	8,11%
Test significatif							

**Tableau 247 :** Analyses de sucres solubles totaux des gains du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Sucres de gains (mg.g <sup>-1</sup> )	20,03±0,22	20,00±1,68	18,14±0,44	19,32±0,11	21,60±2,42		
Comparaison des moyennes	/	/	/	/	/		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	36,9058	14	2,6361				
VAR.FACTEUR 1	18,9277	4	4,7319	2,632	0,09747		
VAR.RESIDUELLE 1	17,9782	10	1,7978			1,3408	6,76%
Test non significatif							

**Tableau 248 :** Analyses de sucres solubles totaux des tiges du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Sucres de tiges (mg.g <sup>-1</sup> )	94,87±3,23	103,30±0,74	110,33±6,36	111,94±0,84	112,06±0,80		
Comparaison des moyennes	C	B	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	767,752	14	54,8394				
VAR.FACTEUR 1	661,8877	4	165,4719	15,6306	0,00033		
VAR.RESIDUELLE 1	105,8643	10	10,5864			3,2537	3,05%
Test significatif							

**Annexe 73 :** Traitements statistiques des résultats du paramètre « **Proline** » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 249 :** Analyses de la proline des racines du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Proline des racines (mg.g <sup>-1</sup> )	2,73±0,27	3,32±0,08	3,81±0,19	5,22±0,25	6,15±0,96		
Comparaison des moyennes	D	CD	C	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	25957500	14	1854107				
VAR.FACTEUR 1	23728540	4	5932135	26,6139	0,00004		
VAR.RESIDUELLE 1	2228958	10	222895,8			472,1184	11,10%
Test significatif							

**Tableau 250 :** Analyses de la proline des feuilles du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Proline des feuilles (mg.g <sup>-1</sup> )	11,78±0,12	14,29±0,11	15,40±0,15	18,09±0,03	22,34±1,62		
Comparaison des moyennes	D	C	C	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	200266900	14	14304780				
VAR.FACTEUR 1	194902400	4	48725610	90,8301	0		
VAR.RESIDUELLE 1	5364480	10	536448			732,4261	4,47%
Test significatif							

**Tableau 251 :** Analyses de la proline des gains du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Proline des gains (mg.g <sup>-1</sup> )	6,59±0,21	6,66±0,33	8,31±0,25	8,79±0,27	12,97±0,68		
Comparaison des moyennes	C	C	B	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	82452010	14	5889429				
VAR.FACTEUR 1	80919120	4	20229780	131,9717	0		
VAR.RESIDUELLE 1	1532888	10	153288,8			391,5211	4,52%
Test significatif							

**Tableau 252 :** Analyses de la proline des tiges du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Proline des tiges (mg.g <sup>-1</sup> )	4,84±0,27	5,25±1,19	6,36±0,78	7,83±0,44	11,52±0,96		
Comparaison des moyennes	C	C	C	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	94086630	14	6720474				
VAR.FACTEUR 1	87578580	4	21894650	33,6424	0,00002		
VAR.RESIDUELLE 1	6508048	10	650804,8			806,7247	11,26%
Test significatif							

**Annexe 74 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « Polyphénols totaux » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 253 :** Analyses de polyphénols totaux des racines du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
P.phénols /racines ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	1560,94 $\pm$ 161	1916,08 $\pm$ 63	2143,63 $\pm$ 6	2203,18 $\pm$ 16	2728,46 $\pm$ 173		
Compar des moyennes	D	C	B	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2315437	14	165388,3				
VAR.FACTEUR 1	2194115	4	548528,8	45,2128	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	121321,5	10	12132,15			110,146	5,22%
Test significatif							

**Tableau 254 :** Analyses de polyphénols totaux des feuilles du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
P.phénols /feuilles ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	1548,18 $\pm$ 74	1723,63 $\pm$ 11	1773,60 $\pm$ 12	1802,31 $\pm$ 64	1751,27 $\pm$ 6		
Compar des moyennes	B	A	A	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	140442,3	14	10031,59				
VAR.FACTEUR 1	120484,3	4	30121,09	15,0923	0,00038		
VAR.RESIDUELLE 1	19957,95	10	1995,795			44,6743	2,60%
Test significatif							

**Tableau 255 :** Analyses de polyphénols totaux des gains du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
P.phénols /gains ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	1954,36 $\pm$ 64	2186,17 $\pm$ 136	2194,67 $\pm$ 85	2730,58 $\pm$ 144	3406,85 $\pm$ 210		
Compar des moyennes	C	C	C	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4285110	14	306079,3				
VAR.FACTEUR 1	4094485	4	1023621	53,6982	0		
VAR.RESIDUELLE 1	190624,8	10	19062,47			138,0669	5,53%
Test significatif							

**Tableau 256** : Analyses de polyphénols totaux des tiges du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
P.phénols /tiges ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	967,61 $\pm$ 78	1023,97 $\pm$ 93	1355,72 $\pm$ 19	1448 $\pm$ 15	1499,27 $\pm$ 3		
Compar des moyennes	C	C	B	AB	A		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	760281,5	14	54305,82				
VAR.FACTEUR 1	729116,7	4	182279,2	58,4888	0		
VAR.RESIDUELLE 1	31164,81	10	3116,481			55,8255	4,43%
Test significatif							

**Annexe 75** : Traitements statistiques des résultats du paramètre « flavonoïdes » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.

**Tableau 257** : Analyses de flavonoïdes des racines du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Flavonoïd/racines ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	95,03 $\pm$ 18,57	165,87 $\pm$ 17,61	191,96 $\pm$ 14,2	237,36 $\pm$ 10,18	262,39 $\pm$ 15,5		
Compar des moyennes	C	B	B	A	A		
Test significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	53673,07	14	3833,791				
VAR.FACTEUR 1	51263,3	4	12815,82	53,1826	0		
VAR.RESIDUELLE 1	2409,777	10	240,9777			15,5235	8,15%
Test significatif							

**Tableau 258** : Analyses de flavonoïdes des feuilles du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Flavonoïd/feuilles ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ )	170,54 $\pm$ 12,1	206,28 $\pm$ 15,75	222,83 $\pm$ 9,06	229,09 $\pm$ 57,59	228,13 $\pm$ 18,77		
Compar des moyennes	/	/	/	/	/		
Test non significatif							
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	15552,98	14	1110,927				
VAR.FACTEUR 1	7257,068	4	1814,267	2,1869	0,14348		
VAR.RESIDUELLE 1	8295,91	10	829,591			28,8026	13,63%
Test non significatif							

**Tableau 259 :** Analyses de flavonoïdes des gains du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Flavonoïd/gains ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	96,93±13,65	145,51±20,44	183,48±7,69	209,57±16,74	239,27±2,54		
Compar des moyennes	E	D	C	B	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	38984,94	14	2784,639				
VAR.FACTEUR 1	37083,8	4	9270,949	48,7651	0		
VAR.RESIDUELLE 1	1901,145	10	190,1145			13,7882	7,88%
Test significatif							

**Tableau 260 :** Analyses de flavonoïdes des tiges du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
Flavonoïd/tiges ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	244,15±11,2	177,43±6,08	153,68±10,9	149,86±12,31	132,46±5,17		
Compar des moyennes	A	B	C	C	C		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	23790,82	14	1699,344				
VAR.FACTEUR 1	22867,51	4	5716,877	61,9173	0		
VAR.RESIDUELLE 1	923,3086	10	92,3309			9,6089	5,60%
Test significatif							

**Annexe 76 : Traitements statistiques des résultats du paramètre « l'activité antioxydante par l'effet du radical DPPH » du soja sous l'effet de l'huile de moteur.**

**Tableau 261 :** Analyses de DPPH des racines du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
DPPH/racines (%)	56,44±1,33	66,9±11,14	67,14±1,67	68,67±4,59	72,7±2,17		
Compar des moyennes	B	AB	AB	AB	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,0744	14	0,0053				
VAR.FACTEUR 1	0,0435	4	0,0109	3,5178	0,04854		
VAR.RESIDUELLE 1	0,0309	10	0,0031			0,0556	8,38%
Test significatif							

**Tableau 262** : Analyses de DPPH des feuilles du soja stressé à l'huile de moteur.

Les doses	Tem	HM 1,25%	HM 2,5%	HM 3,75%	HM 5%		
DPPH/feuilles (%)	69,16±3,08	72,22±3,87	72,22±3,87	79,94±1,89	84,94±1,37		
Compar des moyennes	B	B	B	A	A		
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,0601	14	0,0043				
VAR.FACTEUR 1	0,0511	4	0,0128	14,2693	0,00047		
VAR.RESIDUELLE 1	0,009	10	0,0009			0,0299	3,95%
Test significatif							