



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة باجي مختار - عنابة
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

THESE EN VUE DE L'OBTENTION D'UN DIPLOME DE DOCTEUR en Sciences

Option: Toxicologie cellulaire

Intitulé

Evaluation de la toxicité des xénobiotiques (Sekator et Zoom) sur des cultures
céréalières : *Triticum durum* et *Triticum aestivum*.

Présentée par : Mme SOUABI Hana

Membre de Jury:

Pr. BERREBBAH Houria.

Présidente

Université d'Annaba.

Pr. MEKSEM AMARA Leila.

Directrice de thèse

Université d'Annaba.

Pr. SOUIKI Lynda.

Examinatrice

Université de Guelma.

Dr. KHALDI Fadila.

Examinatrice

Université de Souk Ahras.

Année universitaire: 2015/ 2016

Remerciements

La thèse, bien au-delà du diplôme, est une expérience professionnelle très enrichissante et plus que formatrice. Son aboutissement n'aurait pas été possible, ou en tout cas pas tel qu'il a été, sans l'implication et le soutien de très nombreuses personnes que je souhaiterais remercier ici.

Mes profonds remerciements à tous les membres de cet honorable jury qui ont bien eu l'amabilité de siéger à cette soutenance et ont accepté de poser sur le présent travail leur clairvoyant regard d'évaluateur.

*Tout d'abord je remercie sincèrement Monsieur le Professeur **Mohamed Réda Djebbar**, pour m'avoir accueilli au sein du laboratoire de Toxicologie cellulaire, aussi Madame **Houria Berrebbah**, Professeur à l'Université Badji Mokhtar Annaba, qui a accepté de présider mon jury, je voudrais qu'ils retrouvent ici le témoignage de mon profond respect.*

*Je n'ai pas de mots pour remercier une seconde fois Madame **Leila Meksem Amara**, Professeur à l'Université Badji Mokhtar, Annaba, qui a dirigé ce travail de recherche. Je lui exprime ma reconnaissance pour son appui et pour la confiance qu'elle m'a toujours accordée, et grâce à laquelle j'ai bénéficié d'une grande liberté dans mon travail.*

*J'exprime toute ma gratitude envers Madame **Lynda Souiki**, Professeur à l'Université de Guelma et aussi Madame **Fadila Khaldi**, Maître de conférence de l'Université de Souk Ahras, qui m'ont fait l'honneur d'accepter de participer au jury et d'examiner mon travail, je lui exprime ma profonde reconnaissance.*

Je tiens à remercier tout spécialement les agriculteurs de la wilaya de Tébessa pour leur participation à l'expérimentation et à tous les renseignements donnés lors des rencontres sur le terrain.

*Un grand merci pour tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de cette thèse, en particulier le personnel du laboratoire du département de biologie de l'université de Tébessa, je pense notamment à Mr **Souhail Maalem**, Maître de conférence de l'université de Tébessa, pour ses encouragements et pour m'avoir aidé à effectuer les analyses du sol et l'étude histologique au sein du laboratoire de biologie végétale de Tébessa ainsi qu'à tous les membres du Laboratoire de Toxicologie Cellulaire et tous le personnel de l'Université d'Annaba..*

Je remercie par la même occasion tous ceux qui ne sont peut-être pas cités mais qui se reconnaîtront, et dont la présence ou intervention à un moment donné de la thèse était bénéfique.

« Un hommage respectueux »

*A Madame le Professeur
Leila MEKSEM AMARA*

*Qui a inspiré l'idée du sujet de cette thèse
et pour le temps et l'intérêt qu'elle a consacré à mon travail.
Sa bienveillance, ses conseils et sa grande expérience de chercheur
m'ont beaucoup appris. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.*

Hana

المخلص

يعتبر تقدير نسبة مخاطر المبيدات خطوة أساسية من أجل الوقاية من التلوث البيئي. في حقيقة الأمر، يؤدي استعمال المبيدات الى التلوث الكيميائي للهواء والماء والتربة التي قد ينتج عنها مخاطر سامة (للإنسان) وبيئية سامة (للكائنات الحية الأخرى غير البشر). يهتم جزء من عملنا بدراسة نسبة التسمم لنوعين من مبيدات الاعشاب واسعة الاستعمال في المجال الزراعي: Sekator و Zoom بعد استخدامهما في معالجة الاعشاب الضارة على مستوى الحقل الزراعي لنوع نباتي: القمح الصلب (*Triticum durum Desf*) صنف واحة والقمح اللين (*Triticum aestivum L*) صنف هدهاب (HD 1220).

تمت دراسة نسبة تسمم هذه المادة السامة من خلال إجراء إختبارات بيوكيميائية (البرولين، البروتينات و السكريات الكلية الذائبة)، فيزيولوجية (الكلوروفيل أ، ب، أ + ب)، إنزيمية (الكاتالاز، أسكورات البيروكسيداز، غايكول البيروكسيداز) وغير إنزيمية (مركب الفينول و المألون أدهيد) على مستوى النبات. تمثل كل من حموضة التربة، مقدار التوصيل الكهربائي فيها، محتواها من الصوديوم (Na)، الفوسفور (P)، البوتاسيوم (K) ومعدل المواد العضوية مجموعة المعايير الفيزيوكيميائية المقاسة على مستوى التربة. و قد تم كذلك دراسة تأثير الإرهاق على بعض القياسات المورفولوجية (عدد السيقان الثانوية، عدد السنابل / المتر المربع، عدد البذور / السنبل، وزن البذرة، طول النبات، عدد العقد ومساحة الورقة) و على البنية التشريحية للنباتات.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن القمح شهد تغيرات مظهرية هامة من خلال المعايير المقاسة و التي من بينها: طول النبات، عدد السنابل / المتر المربع، عدد البذور / السنبل، وزن البذرة و مساحة الورقة. كذلك تغيرات بيوكيميائية (البرولين، البروتينات، السكريات الكلية الذائبة)، فيزيولوجية (الكلوروفيل أ، ب، أ + ب)، إنزيمية (GPX, APX, CAT) وغير إنزيمية. تبين كذلك أن للإجهاد آثار جلية على أنسجة الأعضاء المفحوصة. يؤثر مبيد الأعشاب Sekator على مجموعة المعايير الفيزيوكيميائية للتربة أين سجلت انخفاضات لكل من البوتاسيوم، مقدار التوصيل الكهربائي، الفوسفور ومعدل المواد العضوية، في حين أن معدل الفوسفور و المواد العضوية فقد تميزو بارتفاع في الكمية خصوصا عند المعالجة بمبيد الأعشاب Zoom .

وأخيرا، فإن تكيف النباتات للظروف البيئية الصعبة يتطلب تغيرات شكلية وأيضية. حيث يمكن لهذه التغيرات أن تساعد على التقليل من الآثار الضارة للإجهاد والسماح للنبات بالبقاء على قيد الحياة.

الكلمات المفتاحية: قمح، تربة، مواد سامة، تسمم، المؤشرات الحيوية.

Abstract

Risk assessment of pesticides is a key step to prevent environmental contamination. Indeed, the use of pesticides involves risks of chemical contaminations of air, water and soil leading to pollutions having toxicological (for human) and ecotoxicological (for organisms other than humans) consequences. A part of our work consists of toxicological study of two herbicides widely used in agriculture: Sekator and Zoom after their use in treatment of weeds in the field, on a plant model: durum wheat (*Triticum durum* Desf) Waha variety and common wheat (*Triticum aestivum* L) of Hidhab (HD1220) variety.

The toxicity of the xenobiotic is looked through the determination of biochemical (proline content, soluble sugars content and proteins content), physiological (chlorophyll content *a*, *b* and *a+b*), enzymatic (catalase, ascorbate peroxidase, guaiacol peroxidase) and non-enzymatic (phenolic compounds and malondialdehyde) parameters at the plant level. The physicochemical parameters measured at the soil include: pH, electrical conductivity (E.C), available sodium content (Na), content of available phosphorus (P), available potassium content (K) and organic matter (OM). We studied also the impact of stress in some morphological (talls number, number of spikes / m², number of grain / spike, weight of grain, plant height, number of nodes and leaf area) and anatomic parameters. These tests have shown that wheat has a high phenotypic variability for measured characteristics including plant height, number of spikes / m², number of grain / spike, weight of grain and leaf area. Also biochemical changes (proline, proteins and total sugars), physiological (chlorophylls *a*, *b* and *a + b*), enzymatic (GPX, APX, CAT) and non-enzymatic. Visible signs of the impact of abiotic stress were also visualized on the diagnosed tissue of some organs. Exposure to Sekator herbicide performed all the physicochemical parameters of soil where reductions in K, EC, P and OM rate were observed, while level of P and OM were increased, especially under Zoom herbicide treatment.

Finally, adaptation of plants to binding conditions of their environment requires morphological and metabolic changes. These changes should help minimize the harmful effects of stress and allow the plant to survive.

Keywords: *Triticum*, soil, xenobiotic, toxicity, biomarkers.

Résumé

L'évaluation des risques des pesticides est une étape clé dans la prévention de la contamination de l'environnement. En effet, l'utilisation des pesticides engendre des risques de contaminations chimiques de l'air, de l'eau et du sol qui peuvent avoir des conséquences toxicologiques (pour l'homme) et écotoxicologiques (pour les organismes vivants autres que l'homme). Une partie de notre travail consiste à étudier l'effet de deux herbicides, largement utilisés en agriculture: le Sekator et le Zoom utilisés dans le traitement des mauvaises herbes en plein champ, sur un modèle végétal : le blé dur (*Triticum durum* Desf) de la variété Waha, et le blé tendre (*Triticum aestivum* L) de la variété Hidhab (HD1220).

La toxicité de ce xénobiotique est recherchée à travers le dosage des paramètres biochimiques (la proline, les sucres solubles et les protéines totales), physiologiques (chlorophylles *a*, *b* et *a+b*), enzymatiques (la catalase, l'ascorbate peroxydase, le guaiacol peroxydase) et non enzymatiques (les composées phénoliques et le malondialdéhyde) au niveau de la plante. Le pH, la conductivité électrique (C.E), la teneur en sodium (Na), la teneur en phosphore (P), la teneur en potassium (K) ainsi que le taux de la matière organique (MO), représentant les paramètres physico chimiques mesurés au niveau du sol. Nous avons aussi étudié l'impact du stress abiotique sur quelques paramètres morphologiques (nombre des talles, nombre des épis/m², nombre de grain/épi, poids de grains, hauteur du plant, nombre des nœuds et la surface foliaire) et anatomiques. Ces tests, ont montré que le blé, présente une importante variabilité phénotypique pour les caractères mesurés: la hauteur des plants, le nombre d'épis/m², le nombre de grain/épi, le poids de grains et la surface foliaire. Ainsi des modifications biochimiques, physiologiques, enzymatiques et non enzymatiques. Des signes visibles de l'impact du stress abiotique ont été aussi visualisés sur les tissus des organes diagnostiqués. L'exposition à l'herbicide Sekator a affecté l'ensemble des paramètres physicochimiques du sol où des réductions du K, de C.E, du P et du taux de la MO ont été observées, Cependant nous avons enregistré une stimulation du P et de la MO, sous l'action de l'herbicide Zoom.

En conclusion, l'adaptation des végétaux aux conditions contraignantes de leur environnement nécessite des modifications morphologiques et métaboliques. Ces changements doivent aider à minimiser les effets nocifs des stress et permettre à la plante de survivre.

Mots clés: *Triticum*, sol, xénobiotique, toxicité, biomarqueurs.

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Devenir dans l'environnement des herbicides appliqués en zones agricoles.	04
2	Structure générale des sulfonylurées.	08
3	Mécanisme de métabolisation dans la cellule végétale.	11
4	Séquence de réaction de peroxydation lipidique.	12
5	Représentation des sites d'échantillonnage de la plaine de Tébessa (Algérie).	18
6	Réaction d'oxydation du gaïacol en tétragaïacol en présence du H ₂ O ₂ permettant de mesurer l'activité de la GPX.	25
7	Formation de malondialdéhyde suite à la progression de la chaîne de peroxydation des lipides en réponse à un stress oxydatif.	26
8	Réaction de condensation du MDA avec l'acide thio-barbiturique formant le dérivé coloré: MDA (TBA) ₂ , mesuré par spectrophotométrie à 532 nm.	27
9	Protocole d'extraction des extraits bruts.	29
10	Principe de la réduction du réactif de Folin Ciocalteu.	30
11	Effets de Sekator et Zoom sur le nombre moyen des talles de V1: Waha et V2: HD (m ± SD; n = 10).	41
12	Effets de Sekator et Zoom sur le nombre moyen des épis /m ² de V1: Waha et V2:HD (m ± SD; n = 3).	43
13	Effets de Sekator et Zoom sur le nombre moyen des grains/épi de V1: Waha et V2: HD (m ± SD; n = 10).	45
14	Effets de Sekator et Zoom sur le poids moyen de grains de V1: Waha et V2: HD (m ± SD; n= 10).	47
15	Effets de Sekator et Zoom sur la hauteur moyenne du plant de V1: Waha et V2: HD (m ± SD; n= 10).	50
16	Effets de Sekator et Zoom sur le nombre moyen des nœuds de V1: Waha et V2: HD (m ± SD; n = 10).	52
17	Effets de Sekator et Zoom sur la surface foliaire (SF) de V1: Waha et V2: HD (m ± SD; n = 10).	54
18	Effets d'herbicide Sekator sur la teneur en chlorophylle <i>a</i> (mg/g de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement (m ± SD ; n=3).	59

19	Effets d'herbicide Sekator sur la teneur en chlorophylle <i>b</i> (mg/g de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement ($m \pm SD$; $n=3$).	60
20	Effets d'herbicide Sekator sur la teneur en chlorophylle ($a+b$)(mg/g de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement ($m \pm SD$; $n= 3$).	60
21	Effets d'herbicide Zoom sur la teneur en chlorophylle <i>a</i> (mg/g de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement ($m \pm SD$; $n=3$).	62
22	Effets d'herbicide Zoom sur la teneur en chlorophylle <i>b</i> (mg/g de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement. ($m \pm SD$; $n=3$).	63
23	Effets d'herbicide Zoom sur la teneur en chlorophylle ($a+b$) (mg/g de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement ($m \pm SD$; $n= 3$).	63
24	Effets de l'herbicide Sekator et Zoom sur la teneur en protéine ($\mu\text{g/g}$ de PF) de deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement ($m \pm SD$; $n= 3$).	65
25	Effets de l'herbicide Sekator et Zoom sur la teneur en proline ($\mu\text{g/g}$ de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement ($m \pm SD$; $n= 3$).	67
26	Effets de l'herbicide Sekator et Zoom sur la teneur en sucre totaux ($\mu\text{g/g}$ de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement ($m \pm SD$; $n= 3$).	69
27	Effets du traitement par le Sekator et Zoom sur l'activité CAT chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD ($m \pm SD$; $n = 3$).	77
28	Effets du traitement herbicide, sur l'activité APX chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD ($m \pm SD$; $n = 3$).	79
29	Effets du traitement herbicide, sur l'activité GPX chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD ($m \pm SD$; $n = 3$).	81
30	Effets du traitement herbicide, sur le MDA chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD ($m \pm SD$; $n = 3$).	83
31	Effets du traitement herbicide, sur la teneur des phénols totaux chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD.	85

32	Effets du traitement herbicide, sur la teneur en flavonoïdes chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD ($m \pm SD$; $n = 3$).	87
33	Effets du traitement herbicide, sur la teneur en tanins chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD ($m \pm SD$; $n = 3$).	89
34	Cinétique de la réaction de réduction du DPPH des extraits méthanoliques (moyenne de 3 essais).	90
35	Structure chimique typique (a) des flavonoïdes, (b) des Flavones et (c) des catéchines.	94
36	Coupe anatomique représentant la structure primaire de la racine de <i>Triticum durum</i> , variété «Waha témoin».	99
37	Coupe anatomique représentant la structure primaire de la racine de <i>Triticum aestivum</i> , variété «HD témoin».	99
38	Anatomie comparée de la racine des deux espèces de blé (X125) (a : Plante témoin, b : Plante exposée à l'herbicide Sekator).	100
39	Anatomie comparée de la racine des deux espèces de blé (X125) (a : Plante témoin, b : Plante exposée à l'herbicide Zoom).	101
40	La variation du pH du sol en fonction du traitement herbicide (Sekator et Zoom).	103
41	La variation de C.E du sol en fonction du traitement herbicide (Sekator et Zoom).	104
42	La variation de la teneur du sol en sodium en fonction du traitement herbicide (Sekator et Zoom).	106
43	La variation de la teneur du sol en potassium en fonction du traitement herbicide (Sekator et Zoom).	107
44	La variation de la teneur du sol en phosphore assimilable en fonction du traitement herbicide (Sekator et Zoom).	109
45	La variation du taux de la matière organique en fonction du traitement herbicide (Sekator et Zoom).	110

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Composition nutritionnelle de blé tendre et de blé dur (Pour 100g de grains).	02
2	Classification des herbicides selon l'HRAC.	07
3	Caractéristiques des cultivars de blés utilisés.	15
4	Structures chimiques de la matière active de l'herbicide Sekator et Zoom.	17
5	Classes de la salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux à 25 °c.	35
6	Paramètres statistiques de base du nombre moyen des talles, obtenus au stade tallage, sous l'effet des deux herbicides Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés Waha et HD.	39
7	Analyse de la variance à un critère de classification appliquée dans la comparaison, entre le témoin et la dose au plein champ, du nombre moyen des talles, obtenus au stade tallage pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides Sekator et Zoom.	40
8	Paramètres statistiques de base du nombre moyen des épis /m ² , obtenus au stade montaison, sous l'effet des deux herbicides Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés Waha et HD.	42
9	Analyse de la variance à un critère de classification appliquée dans la comparaison, entre le témoin et la dose au plein champ, du nombre moyen des épis /m ² , obtenus au stade montaison pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides Sekator et Zoom.	42
10	Paramètres statistiques de base du nombre moyen des grains/épi, obtenus au stade montaison, sous l'effet des deux herbicides Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés Waha et HD.	44
11	Analyse de la variance à un critère de classification appliquée dans la comparaison, entre le témoin et la dose au plein champ, du nombre moyen de grains/épi, obtenus au stade montaison pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides Sekator et Zoom.	44
12	Paramètres statistiques de base du poids moyen de grain, obtenus au stade montaison, sous l'effet des deux herbicides Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés Waha et HD.	46

13	Analyse de la variance à un critère de classification appliquée dans la comparaison, entre le témoin et la dose au plein champ, du poids moyen de grain, obtenus au stade montaison pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides Sekator et Zoom.	46
14	Estimation du rendement des deux variétés du blé témoin et traitées.	48
15	Paramètres statistiques de base de la hauteur moyenne des plants, obtenus au stade montaison, sous l'effet des deux herbicides Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés Waha et HD.	49
16	Analyse de la variance à un critère de classification appliquée dans la comparaison, entre le témoin et la dose au plein champ, de la hauteur moyenne des plants, obtenus au stade montaison pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides Sekator et Zoom.	49
17	Paramètres statistiques de base du nombre moyen des nœuds, obtenus au stade montaison, sous l'effet des deux herbicides Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés Waha et HD.	51
18	Analyse de la variance à un critère de classification appliquée dans la comparaison, entre le témoin et la dose au plein champ, du nombre moyen des nœuds, obtenus au stade montaison pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides Sekator et Zoom.	51
19	Paramètres statistiques de base de la surface foliaire (SF), sous l'effet des deux herbicides Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés Waha et HD.	53
20	Analyse de la variance à un critère de classification appliquée dans la comparaison de la surface foliaire, entre le témoin et la dose au plein champ, pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides Sekator et Zoom.	53
21	Paramètres statiques calculés sur la chl <i>a</i> , la chl <i>b</i> et la chl (<i>a+b</i>) pour les variétés de <i>Triticum</i> , et pour les différentes doses (témoin et plein champ) de l'herbicide Sekator.	58
22	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison, entre doses de l'herbicide Sekator, pour chacune des deux variétés de <i>Triticum</i> , de la chl <i>a</i> , de la chl <i>b</i> et de la chl (<i>a+b</i>), obtenus au cours des trois essais réalisés.	59
23	Paramètres statiques calculés sur la chl <i>a</i> , la chl <i>b</i> et la chl (<i>a+b</i>) pour la variété de <i>Triticum</i> , et pour les différentes doses (témoin et plein champ) de l'herbicide Zoom.	61

24	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison, entre doses de l'herbicide Zoom, pour chacune des deux variétés de <i>Triticum</i> , de la chl <i>a</i> , de la chl <i>b</i> et de la chl (<i>a+b</i>), obtenus au cours des trois essais réalisés.	62
25	Paramètres statistiques de base calculés sur les protéines ($\mu\text{g} / \text{g}$ de PF) par dose, par herbicide et par variété de <i>Triticum</i> .	64
26	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, des protéines obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de <i>Triticum</i> .	64
27	Paramètres statistiques de base calculés sur la proline, par dose, par herbicide et par variété de <i>Triticum</i> .	66
28	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, des prolines obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de <i>Triticum</i> .	66
29	Paramètres statistiques de base des sucres ($\mu\text{g} / \text{g}$ de PF) par dose, par herbicide et par variété de <i>Triticum</i> .	68
30	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, des sucres obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de <i>Triticum</i> .	68
31	Paramètres statistiques de base des catalase (nmoles / min /mg de Prot) par dose, par herbicide et par variété de <i>Triticum</i> .	76
32	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, de l'activité catalase obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de <i>Triticum</i> .	76
33	Paramètres statistiques de base calculés sur l'activité de l'ascorbate peroxydase, par herbicide et par variété de <i>Triticum</i> .	78
34	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, de l'activité ascorbate peroxydase obtenus pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de <i>Triticum</i> .	78
35	Paramètres statistiques de base calculés sur l'activité gaïacol peroxydase, par herbicide et par variété de <i>Triticum</i> .	80
36	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, de l'activité gaïacol peroxydase obtenus pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de <i>Triticum</i> .	80

37	Paramètres statistiques de base calculés sur le MDA (n mol / g de PF) par dose, par herbicide et par variété de <i>Triticum</i> .	82
38	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, des MDA obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de <i>Triticum</i> .	82
39	Paramètres statistiques de base calculés sur la teneur des phénols totaux par dose, par herbicide et par variété de <i>Triticum</i> .	84
40	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, de la teneur des phénols totaux obtenus pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de <i>Triticum</i> .	84
41	Paramètres statistiques de base calculés sur la teneur en flavonoïdes par dose, par herbicide et par variété de <i>Triticum</i> .	86
42	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, de la teneur en flavonoïdes obtenus pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de <i>Triticum</i> .	86
43	Paramètres statistiques de base calculés sur la teneur en tannins par dose, par herbicide et par variété de <i>Triticum</i> .	88
44	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, de la teneur en tannins obtenus pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de <i>Triticum</i> .	88
45	Effet scavenger de l'extrait méthanolique et de l'acide ascorbique vis-à-vis du radical libre DPPH in vitro.	89
46	Résultat des différents paramètres physicochimiques étudiés sur trois échantillons du sol.	102
47	Paramètres statistiques de base calculés sur le pH du sol (témoin et traités).	102
48	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison de pH du sol obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués (Sekator et Zoom).	103
49	Paramètres statistiques de base calculés sur le C.E du sol (témoin et traités).	104
50	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison de C.E du sol obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués (Sekator et Zoom).	105
51	Paramètres statistiques de base calculés sur la teneur en Na du sol (témoin et traités).	105

52	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison de la teneur du sol en Na obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués (Sekator et Zoom).	106
53	Paramètres statistiques de base calculés sur la teneur en K du sol (témoin et traités).	106
54	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison de la teneur du sol en K obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués (Sekator et Zoom).	107
55	Paramètres statistiques de base calculés sur la teneur en P du sol (témoin et traités).	108
56	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison de la teneur du sol en P obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués (Sekator et Zoom).	109
57	Paramètres statistiques de base calculés sur Taux de la matière organique du sol (témoin et traités).	109
58	Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison du taux de la matière organique dans le sol obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués (Sekator et Zoom).	110

Liste des abréviations

ADN: Acide Désoxyribonucléique.

ADNep: ADN chloroplastique.

ADNmt: ADN mitochondrial.

ADP: Adenosine Di Phosphate.

ANOVA: Analyse de Variances.

APX: Ascorbate peroxydase.

ARN: Acide Ribonucléique.

AsA: Acide Ascorbique.

ATP: Adénosine Tri Phosphate.

BSA: Albumine de sérum de bœuf.

CaCO₃: Bicarbonate de calcium.

CAT: Catalase.

CIMMYT: International Maize and Wheat Improvement.

CHI : Chalcone isomerase.

CHS : Chalcone synthase.

DFR : Dihydroflavonol 4-reductase.

F3H : Flavanone 3 -b hydroxylase.

FAO: Organisation mondiale de l'Agriculture et de l'Alimentation (Food and Alimentation Organisation).

GST: Gluthation-S Transférase.

H₂O₂: Peroxyde d'hydrogène.

HS: HD exposée à l'herbicide Sekator.

HT: HD témoin.

HZ: HD exposée à l'herbicide Zoom.

ICARDA: International Center for Agricultural Research in Dry Areas.

LDOX: Leucoanthocyanidin dioxygenase.

MDA: Malondialdéhyde.

MF: Matière fraîche.

MO: matière organique (%).

NADH: Nicotinamide Adénine Dinucléotide réduit.

NADPH: Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate réduit.

O₂⁻ : Anion superoxide.
¹O₂: Oxygène singulet.
OH[•] : Radical hydroxyle.
PMG: Le poids de mille grains.
PQ: Plastoquinone.
PSI: Photosystème I.
PSII: Photosystème II.
Q_A: Quinone A, accepteur primaire d'électrons du PSII.
Q_B: Quinone B, accepteur secondaire d'électrons du PSII.
qsp : quantité suffisante pour.
R[•] : radical hydroxyle.
RDT: Le rendement grain (g m⁻²).
RO[•] : Alkoxy.
ROO[•] : Peroxyle.
ROS : Reactive Oxygen Species.
SF: La surface de la feuille étandard.
T: témoin.
TCA: Acide tricarboxylique.
UFGT : UDP-glucose: flavonoid 3-O-glucosyltransferase.
UV: Ultra-Violet.
Ve: Volume de l'extrait enzymatique.
Vt: Volume total du mélange réactionnel.
W: Waha.
WS: Waha exposée à l'herbicide Sekator.
WT: Waha témoin.
WZ: Waha exposée à l'herbicide Zoom.
Δ A: Difference moyenne de l'absorbance.
Σ: Coefficient d'extinction linéique molaire.

Table des matières

Remerciements

الملخص

Abstract

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Table des matières

Chapitre 1 : introduction générale

Généralités.....	01
Objectifs de travail.....	12

Chapitre 2 : matériel et méthodes

A. Matériel expérimental.....	14
1. Présentation du matériel biologique.....	14
1.1. Classification du blé dur.....	14
1.2. Classification du blé tendre.....	14
1.3. Caractéristiques des cultivars.....	15
2. Herbicides utilisées.....	15
2.1. Sekator.....	15
2.2. Zoom.....	16
B. Mise en place de l'expérimentation.....	16
C. Paramètres étudiés.....	19
a. Paramètres morphométriques.....	19
1. Caractères de production.....	19
Nombre de talles herbacés.....	19
Nombre d'épis / m ²	19
Nombre de grains / épi.....	19
Poids moyen de graines.....	19

Estimation du rendement.....	19
2. Caractères d'adaptation.....	20
Hauteur des plants.....	20
Nombre de nœuds.....	20
Surface de la feuille étendard (SF « cm ² »).....	20
b. Paramètres physiologiques.....	21
Dosage des chlorophylles <i>a</i> , <i>b</i> et <i>a+b</i> dans les feuilles.....	21
c. Paramètres biochimiques.....	21
Dosage des protéines totales.....	21
Dosage de la proline.....	22
Dosage des sucres solubles.....	22
d. Dosage des Biomarqueurs.....	23
1. Dosage enzymatique.....	23
Extraction enzymatique.....	23
Quantification des mesures spectrophotométriques.....	23
Dosage de l'activité Catalase (CAT).....	24
Dosage de l'activité ascorbate peroxydase (APX).....	24
Dosage de l'activité guaïacol peroxydase (GPX).....	25
2. Analyse des lipoperoxydes membranaires	26
3. Dosage des composés phénoliques.....	28
3.1. Préparation des extraits phénoliques.....	28
3.2. Extraction des extraits bruts méthanoliques.....	28
Délipidation de la poudre.....	28
Extraction.....	28
Dosage des phénols totaux.....	29
Dosage des flavonoïdes.....	31
Dosage des tanins.....	31
3.3. Evaluation de l'activité antiradicalaire (DPPH).....	32
Méthode.....	32
Protocole.....	33
e. Etude de l'anatomie des racines des plantes étudiées.....	33
f. Analyse pédologique du sol.....	34
Mesure du pH.....	34

Mesure de la conductivité.....	35
Mesure de la texture.....	35
Dosage du carbone organique.....	35
Dosage du phosphore assimilable.....	36
Mise en solution d'éléments minéraux.....	36
D. Méthodes statistiques d'analyse et de traitement des données.....	37
Description des données.....	37
Le test de l'analyse de la variance (ANOVA).....	37
La méthode de Dunnet	37

Chapitre 3 : résultats et discussions

A. Effets des herbicides sur les paramètres morphométriques des deux espèces étudiées.....	39
1. Caractères de production.....	39
Nombre moyen des talles (NMT).....	39
Nombre des épis /m ² (N.E/m ²).....	41
Nombre moyen de grains/épi (NMG).....	43
Poids moyen de grains (PMg).....	45
Estimation du rendement (RDT).....	47
2. Caractères d'adaptation.....	48
Hauteur moyenne du plant (HMP).....	48
Nombre moyen des nœuds (NMN).....	50
Surface foliaire (SF).....	52
3. Discussion.....	54
B. Effets des herbicides sur les paramètres physiologiques et biochimiques.....	58
1. les chlorophylles <i>a</i> , <i>b</i> et <i>a+b</i>	58
Traitement par l'herbicide Sekator.....	58
Traitement par l'herbicide Zoom.....	61
2. Les protéines totales.....	64
3. La proline.....	65
4. Les sucres solubles.....	67
5. Discussion.....	69

C. Effets des herbicides sur les biomarqueurs.....	75
1. Activité enzymatique.....	75
Activité catalase (CAT).....	75
Activité Ascorbate Peroxydase (APX).....	77
Activité Gaïacol Peroxydase (GPX).....	79
2. Les lipoperoxydes membranaires.....	81
3. Les composés phénoliques.....	83
Teneur des phénols totaux.....	83
Teneur des flavonoïdes.....	85
Teneur des tanins.....	87
Activité antiradicalaire des polyphénols.....	89
4. Discussion.....	89
D. Effets des herbicides sur l'anatomie des racines des plantes étudiées.....	96
Anatomie comparée des racines des deux espèces de blé (hors stress).....	96
Impact du traitement sur l'anatomie de la racine des deux espèces de blé.....	97
E. Effets des herbicides sur les paramètres pédologiques du sol.....	102
pH du sol.....	102
Conductivité Électrique (C.E).....	104
Teneur du sol en Na.....	105
Teneur du sol en K.....	106
Teneur du sol en P.....	108
Taux de la matière organique (MO).....	109
Discussion.....	111
Conclusion générale et perspectives.....	115
Références Bibliographiques.....	118
Annexes.....	142

Chapitre 1 : introduction générale

Généralités

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. elles sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (**Slama et al., 2005**). Parmi ces céréales, Le blé occupe la première place dans la production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines, il assure 15% de ses besoins énergétiques (**Bajji, 1999**).

Le blé est cultivé principalement dans les pays du bassin Méditerranéen à climat aride et semi-aride, là où l'agriculture est dans la plus mauvaise passe. Elle se caractérise par l'augmentation de la température couplée à la baisse des précipitations, en plus la désertification et la sécheresse tuent les sols agricoles (**Abeledo et al., 2008**).

En 2011 et 2012, la production mondiale de blé a été de 674 millions de tonnes (**FAO, 2011**). En 2013, 704 millions de tonnes de blé ont été produites dans le monde (**FAO, 2013**), soit une progression de 6,5%. L'union européenne est le premier producteur de blé au monde dont la France occupe le deuxième rang (2,4 millions de tonnes en 2012) après l'Italie (**Lelamer et Rousselin, 2011**). La France est le principal fournisseur de blé dur de l'Algérie. La consommation mondiale moyenne de blé était de 67,5 kg par habitant en 2011 (**FAO, 2011**). Les pays d'Afrique du Nord et d'Asie sont parmi les principaux consommateurs de blé par habitant au niveau mondial, l'Algérie occupe le deuxième rang après la Tunisie avec une consommation de presque 240 kg par habitant et par an (**FAO, 2014**).

Le grain est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15%) et de pentosanes (8 à 10%) et contient aussi en faibles quantités des lipides, de la cellulose, des sucres libres, des minéraux et des vitamines. Les sons de blé sont constitués principalement de polysaccharides, incluant des arabinoxylanes, des xyloglucanes et de la cellulose, mais contiennent aussi des quantités significatives d'acides phénoliques, de lignine et de protéines (**Parker et al., 2005**).

Les protéines du blé sont la base de qualité technologique des produits de première transformation (Semoule de blé dur et farine de blé tendre) et contribuent à l'expression des caractéristiques culinaires de produit de deuxième transformation (pâtes alimentaires, couscous,...) et à bien d'autres mets comme le pain, le frik, et divers gâteaux (**Troccoli et al., 2000**). Selon **Hébrard (1996)**, la composition nutritionnelle de blé tendre et de blé dur (pour 100 g de grains entiers) est représentée dans le tableau 1.

Au cours de la digestion, les protéines sont réduites en leurs acides animés constitutifs, lesquels sont absorbés dans la circulation sanguine pour se reformer en protéines nécessaires à la croissance, à l'entretien et à la réparation des cellules humaines (**Aykroyd et Doughty, 1970**).

Tableau 1. Composition nutritionnelle de blé tendre et de blé dur (Pour 100 g de grains entiers) (**Hébrard, 1996**).

Compositions	Blé tendre	Blé dur
Eau (g)	13,5	13
Energie (K joules)	1398	1383
Energie (K cal)	334	331
Glucides (g)	67,3	63
Lipides (g)	2	2,5
Protides (g) (N x 6, 25)	11,7	14
Fibres alimentaires (g)	9,6	9,5
Calcium (mg)	30	35
Magnésium (mg)	173	100
Phosphore (mg)	340	390
Sodium (mg)	5	5
Potassium (mg)	370	/
Fer (mg)	3,4	4,5
Vit B1 (mg)	0,45	0,5
Vit B2 (mg)	0,1	0,09
Vit pp (mg)	5	6
Vit E (mg)	2,5	3
Biotine (mg)	0,005	0,01
Acide folique (mg)	0,05	0,45
Vit B6 (mg)	0,04	0,5

Pour faire face au besoin alimentaire de la population, qui en 2020, devrait atteindre 8 milliard d'hommes, la production de blé et de riz, principales cultures vivrières, devra augmenter de 40 à 50% en tonnage. Par conséquent, l'application des pesticides s'est avérée une nécessité, voire une obligation à travers le monde. Un pesticide est donc toute substance

ou mélange de substances chimiques (naturelles ou synthétiques) utilisée pour lutter contre les ravageurs qui portent atteinte aux ressources végétales ou animales, nécessaires à l'alimentation humaine. Ces produits, sont également appelés agropharmaceutiques ou phytosanitaires

L'usage intensif et abusif de pesticides n'est pas sans conséquences. Les pesticides les plus efficaces sont essentiellement chimiques, les impacts sont donc accumulatifs et lourds pour les êtres vivants et leur environnement. Parmi les principaux pesticides chimiques et toxiques on peut citer les suivants :

- Les herbicides : ce sont des substances destinées à éliminer les mauvaises herbes adventices des cultures. Ils ont des modes d'action peu diversifiées car ils agissent sur une ou plusieurs étapes de la photosynthèse (**Cairns et Sherma, 1996; Hildebrandt et al., 2008**).

- les insecticides : sont toutes les substances qui tuent les insectes, empêchent l'éclosion des œufs, altèrent le développement normal des larves ou la maturation sexuelle (**Faurie, 2003**).

- les fongicides : Ils servent à combattre la prolifération des champignons pathogènes. Ils permettent de lutter contre les maladies cryptogamiques qui causent de graves dommages aux végétaux cultivés (**Cairns et Sherma, 1996**).

- Les molluscides employés vis-à-vis des escargots et limaces qui font des dégâts dans les cultures maraîchères.

- Les nématocides employés contre les vers.

- Les rodenticides employés contre les oiseaux ravageurs.

Les trois classes de loin les plus utilisées sont les herbicides, les insecticides et les fongicides (**Chafik, 1997**).

L'emploi des pesticides dans l'agriculture ne comporte pas uniquement des effets bénéfiques, mais également des conséquences néfastes pour l'environnement et pour la santé humaine.

Plusieurs études ont mis en évidence des toxicités sur la faune et sur la flore. On peut citer quelques travaux réalisés sur le genre *Triticum*, au sein de laboratoire de toxicologie cellulaire de l'université Annaba (**Meksem et al., 2007 ; Hennouni et al., 2008 ; Bouchlaghem et al., 2011 ; Ghozlène et al., 2013 ; Souahi et al., 2014 ; Belahcene et al., 2015 ; Alayat, 2015...**). Généralement, les risques attribuables aux pesticides sont cependant difficiles à circonscrire vu le nombre élevé d'organismes vivants, leur sensibilité différente aux pesticides, la grande diversité des milieux et des pesticides employés, ainsi que la

difficulté de recenser les effets engendrés. Certains cas liés aux effets de ces produits sur les communautés benthiques (Richard et al., 2004), les amphibiens (Aubertot et al., 2005, Bérubé et al., 2005), les poissons (Gendron et al., 1997, Dorval et al., 2005), les oiseaux et les mammifères ont cependant été étudiés. Des études récentes ont montré que les pesticides peuvent altérer les écosystèmes aquatiques (Schäfer et al., 2007), et certaines microflores qui sont essentielles à la fertilité des sols (Downing et al., 2008). Ainsi, la fertilité des sols peut être ébranlée à travers la diminution voire la disparition de certaines populations comme celles des lombrics (CPP, 2002).

En effet, suite à leur épandage sur les sols agricoles, une partie des pesticides, rejoint soit l'atmosphère par volatilisation, soit les eaux de surface par ruissellement superficiel, soit les eaux souterraines par entraînement en profondeur (Figure 1). Cependant, pour la plus grande partie d'entre eux, ces produits vont séjourner au sein des sols, restant en solution dans l'eau où ils pourront être dégradés par les micro-organismes, ou retenus de façon plus ou moins forte par certains éléments solides présents dans le sol (Barbash et Resek, 1996).

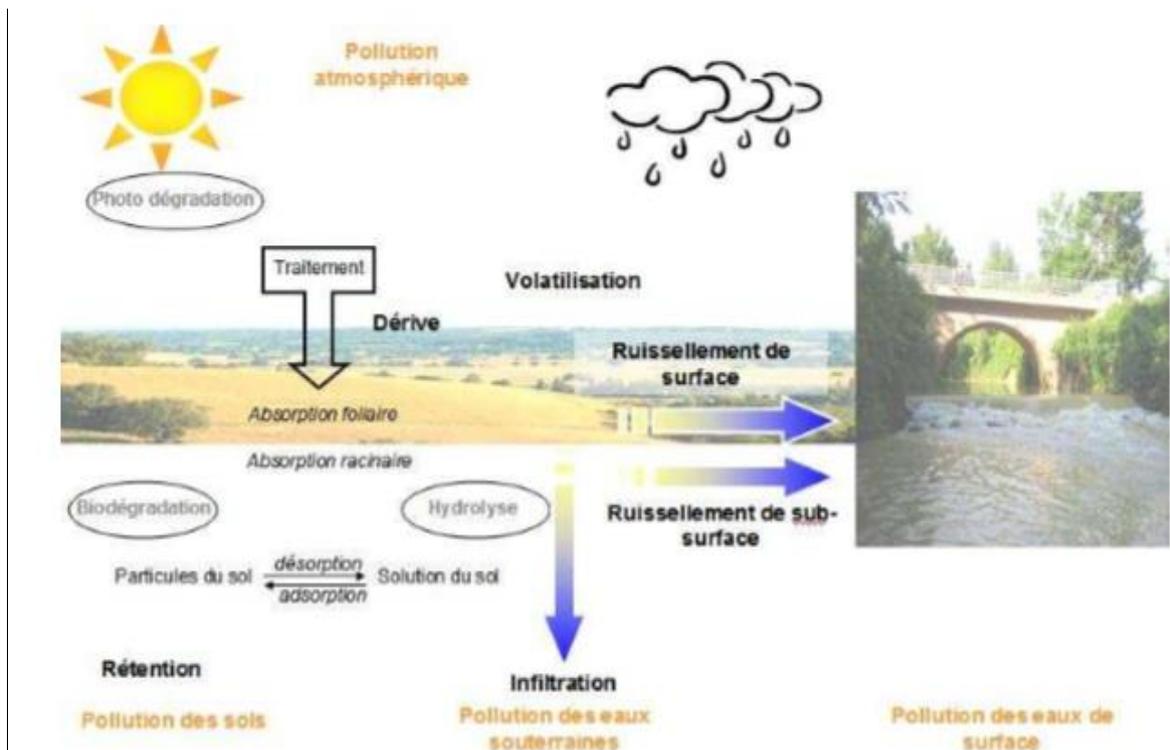


Figure 1. Devenir dans l'environnement des herbicides appliqués en zones agricoles (Polard, 2010).

Parallèlement aux risques environnementaux, existent des risques sanitaires. En effet, le nombre de maladies professionnelles listées par la MSA (Mutualité Sociale Agricole) qui sont liées à l'utilisation de pesticides, ne cesse de croître depuis une vingtaine d'années (leucémie et lymphomes par exemple). Les produits phytosanitaires ont donc des propriétés toxiques avérées sur l'homme (**Tron et al., 2001; Meeker et al., 2006**).

Une toxicité neurologique aiguë, l'affaiblissement du développement neurologique chronique, un dysfonctionnement des systèmes immunitaires, de reproduction et endocrinien ont également été rapportés. L'exposition aux pesticides peut aussi être la cause du développement de cancer (**Hercegová et al., 2007**). Les risques modérés liés à une mauvaise application incluent des maux de tête, des éruptions cutanées ou encore des troubles de la vision. Les résultats issus de différentes études illustrent certains des effets néfastes pouvant être observés. Il a été effectivement mis en évidence, qu'une exposition à certaines substances pouvait entraîner un dérèglement du système immunitaire (**Rekha et al., 2006**). Certains pesticides sont aussi considérés comme étant des perturbateurs endocriniens, c'est à dire qu'ils interfèrent avec les hormones, en simulant leur action. Par ailleurs, il a été montré que chez les agriculteurs, les cancers de la prostate et de l'estomac étaient plus fréquents (**Meyer et al., 2003**). Ce comportement a été confirmé par l'équipe de Quintanilla-Vega qui a identifié certains pesticides et leurs produits de dégradation, comme des agents susceptibles de nuire à la fertilité masculine, en particulier, via une toxicité testiculaire (**Sánchez-Peña et al., 2004**). Par ailleurs, une étude conduite aux Etats Unis a mis en évidence la présence de résidus de pesticides dans différentes matrices : urine, sang, tissus adipeux et lait maternel.

Avant l'utilisation des produits phytosanitaires, les systèmes de culture étaient conçus pour assurer le meilleur compromis entre le risque phytosanitaire et le potentiel de production de la culture. Cependant, les pertes en rendement des productions agricoles dues aux maladies, aux ravageurs et aux mauvaises herbes pouvaient atteindre des proportions importantes (**Oerke et Dehne, 1997**). D'après **Oufroukh et Hamadi, (1993)**, 20 % des pertes de rendements en céréaliculture sont dues aux mauvaises herbes.

Les mauvaises herbes sont considérées comme nuisibles, principalement en raison de la compétition qu'elles exercent sur les cultures pour la lumière, l'eau et les éléments minéraux (**Doré et al., 2006**). Aussi à faibles densités, les adventices peuvent être préjudiciables en produisant des graines qui augmenteront le stock semencier du sol et germeront dans les cultures suivantes. Parmi les monocotylédones les plus importantes en Algérie, la folle avoine (*Avena sterilis*), le brome (*Bromus rigidum*) et le Phalaris (*Phalaris*

brachystachys). Les dicotylédones on trouve la moutarde des champs (*Sinapis arvensis*), le coquelicot (*Papaver rhoeas*) et le souci des champs (*Calendula arvensis*) (**Belaid, 1990**).

L'application d'herbicides pour la répression des mauvaises herbes est une pratique répandue en agriculture. Le désherbage des cultures est une nécessité, non seulement à cause des pertes de rendement, dues à la concurrence exercée par les mauvaises herbes, mais aussi parce que la présence de celles-ci entraîne des diminutions de la qualité des récoltes, ainsi que des problèmes de séchage, de transport et d'entreposage des récoltes (**Scalla et Gauvrit, 1991**).

La nature des mauvaises herbes, n'étant pas unique, une variété d'herbicides sont disponibles pour les agriculteurs. Il est possible de les regrouper en différentes catégories ou classes, en fonction de leur sélectivité, de leur famille chimique, de leur mode de pénétration et d'absorption par les plantes, ainsi que de leur période d'application (usage préventif ou curatif) (**Agra-Ost, 2006**). La nouvelle classification provient de l'Herbicide Resistance Action Committee (HRAC), un organisme international qui a pour objectif la coordination d'actions en matière de gestion de la résistance aux herbicides (**Beckert, 2011**). Le tableau suivant (Tableau 2) résume la classification de l'HRAC.

Tableau 2. Classification des herbicides selon l'HRAC (Beckert, 2011)

Classe de l'herbicide	Famille chimique	Molécule cible	Type d'interaction	Conséquence
Classe A	Familles des cyclohexanediones et des aryloxyphénoxypropionates	Carboxyl transférase	Inhibition compétitive	Non synthèse de l'acétyl coenzyme A carboxylase essentielle à la formation des acides gras.
Classe B	sulfonylurées et imidazolinones	Acétolactate synthase	Inhibition allostérique	Non synthèse des acides aminés: leucine, isoleucine et valine.
Classe C	Bromoxynyl	Plastoquinone	Inhibition compétitive	Les électrons libérés par la photolyse de l'eau sont captés par le dioxygène qui provoque la peroxydation des lipides.
Classe G	Glyphosate	Phosphoénol pyruvate	Inhibition compétitive	Non synthèse de l'énoyl pyruvyl shikimate-3 phosphate synthase essentielle à la formation des acides aminés aromatiques.
Classe H	Glufosinate	Glutamine synthase	Inhibition compétitive	Non synthèse de la Glutamine permettant la dégradation des glyoxylates toxiques provenant de la photorespiration.
Classe O	Dicamba	Il agit de manière similaire à l'acide indolacétique.	Dérégularisation de la croissance des tissus.	Croissance anarchique des tissus provoquant les symptômes d'épinasties et de fasciations.

Dans ce travail, nous avons évalué la toxicité de deux xénobiotiques sur des cultures céréalières : *Triticum durum* Desf et *Triticum aestivum* L. Il s'agit des deux herbicides : Sekator et Zoom, appartenant à la famille des sulfonylurées et de dicamba.

Les sulfonylurées sont des herbicides appartenant au groupe des inhibiteurs de l'acétolactate synthase (ALS), une enzyme végétale impliquée dans la synthèse de trois acides aminés: la leucine, l'isoleucine et la valine. L'inhibition de l'enzyme par ces

herbicides stoppe la synthèse de ces trois acides aminés indispensables au développement de la plante, provoque un arrêt de sa croissance, puis sa mort (**Delabays et al., 2006**). L'A.L.S est présente uniquement chez les végétaux, ce qui explique, la forte phytotoxicité du produit et sa faible toxicité pour le règne animal en général, et l'homme en particulier. L'inhibition de l'enzyme A.L.S. entraîne, très rapidement après application, un blocage de la croissance des plantes sensibles et supprime donc toute compétition vis-à-vis de la culture (**Brown, 1990**).

La structure chimique des sulfonylurées est composée de trois parties distinctes: groupement aryle, pont et hétérocycle (Figure 2). Chaque partie joue un rôle très important quant à l'action herbicide de la molécule.

D'un autre côté, l'emploi répété de sulfonylurées a donné lieu à l'apparition de biotypes résistants de mauvaises herbes. Dans presque tous les cas, ces résistances sont dues à des formes mutantes de l'enzyme cible (**Guttieri et al., 1995**).

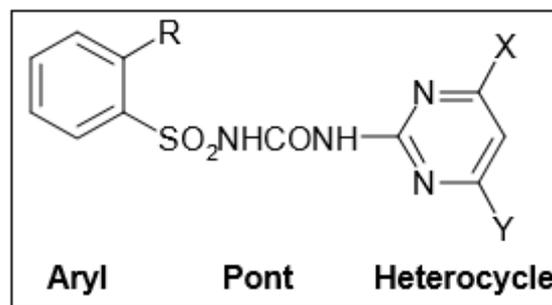


Figure 2. Structure générale des sulfonylurées (Chafik, 1997).

Le dicamba est un herbicide systématique sélectif utilisé pour détruire une grande panoplie de mauvaises herbes dans la culture du blé, de l'avoine, de l'orge, du maïs et du gazon. Il peut être transporté par l'air puisqu'il peut subsister sous forme de vapeur ou adsorbé aux particules dans l'atmosphère (**Gouvernement du Québec, 2002**).

Les herbicides du groupe 4, sont des herbicides de type hormonal, appelés herbicides auxiniques et décrits comme des auxines synthétiques ou des régulateurs de croissance avec une action herbicide, ou des herbicides avec une activité de régulateur de croissance (**Sterling et Hall, 1997**). Ils sont nommés ainsi parce qu'ils miment l'action de l'auxine, plus particulièrement de l'acide indole-3-acétique (AIA), dans la plante (**Grossmann, 2003**). Au niveau cellulaire, les herbicides auxiniques stimulent la synthèse d'acides nucléiques (ADN et ARN) et des protéines. Au niveau tissulaire, la division, et surtout l'élongation des cellules, sont activées (**Gauvrit, 1996**).

Au cours de l'évolution, les plantes ont développé des mécanismes complexes pour absorber les substances organiques ou minérales du sol, de l'eau et de l'air à travers leurs racines et leurs feuilles, lesquelles sont ensuite transportées dans d'autres parties de la plante pour être utilisées, transformées, dégradées ou stockées (**Cunningham et al., 1996 ; Polessp, 2005**). Cette technique connue sous le nom de phytoremédiation « phyto » = plante et « remedium » = rétablissement de l'équilibre, remédiation, la phytoremédiation est définie comme l'utilisation de plantes pour extraire ou transformer les polluants organiques et aussi inorganiques (plus particulièrement les métaux lourds) (**Salt et al., 1998**). Les aspects technologiques d'efficacité, de coût du traitement et les aspects économiques sont abordés. Plus précisément, Les types de stratégies de phytoremédiation, particulièrement utilisés dans la dépollution sont décrits ci-dessous:

(1) Phytostimulation : Les plantes sécrètent des exsudats racinaires qui peuvent être utilisés par les communautés microbiennes et promouvoir leur développement et leurs activités. Cette stimulation microbienne dans la rhizosphère modifie la bioaccumulation, oxydation/réduction biologique et biométhylation des polluants (**McGrath, 1998**).

(2) Phytostabilisation : Utilisation des plantes pour réduire la biodisponibilité des polluants par les écoulements (latéraux ou en profondeur) ou immobiliser les composés polluants en les liants chimiquement par précipitation, stabilisation, absorption ou piégeage de ceux-ci par la plante. Cette technique permet d'éviter la dispersion des polluants dans les eaux de surface et souterraines (**Cunningham et al., 1995**).

(3) Phytoextraction : Utilisation de plantes qui absorbent les polluants dans les sols par les racines, puis transfèrent et accumulent ceux-ci dans leurs parties récoltables (feuilles, tiges et racines). Les polluants vont se complexer avec des acides organiques ou des acides aminés synthétisés par la plante. Ils sont ensuite récupérés en incinérant ou compostant la biomasse de plante (**McGrath, 1998**).

(4) Phytovolatilisation : Utilisation de plantes qui absorbent des contaminants organiques et autres produits toxiques, transformant ceux-ci en éléments volatiles peu ou pas toxiques et les relâchant dans l'atmosphère via leurs feuilles (**McGrath, 1998**).

La phytoremédiation est une technique qui utilise l'efficacité des plantes pour dépolluer les matrices et pour que ce rendement soit optimal, les plantes doivent tolérer le stress et la toxicité liés à la pression chimique. Dans le cas des organochlorés, il a été démontré que le lindane pouvait inhiber la germination et le développement de la plantule (mesuré par pesée de la biomasse) de plusieurs espèces végétales, exemple : *Triticum*,

Trifolium, *Avena*, etc (**Lichtenstein et al., 1962**, **Salazar et Paulsen 1971**, **Verma et Pillai 1991**, **Pereira et al., 2010**).

Afin de répondre au besoin d'évaluation de l'impact biologique des contaminations, des outils de diagnostic ont été développés comme Les **biomarqueurs** qui sont définis comme «un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental, et révèle donc l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant » (**Lagadic et al., 1997**). Par définition, ils visent alors à appréhender la contamination dans le contexte biologique.

A l'heure actuelle, aucun biomarqueur n'a été identifié, comme étant spécifique des herbicides. En raison de la très grande variété de molécules, et de la diversité des effets potentiels et des modes d'action, de nombreuses mesures biologiques, relatives à l'ensemble des échelles biologiques, sont utilisées en tant que biomarqueur pour évaluer les effets des herbicides sur le genre *Triticum*.

Les biomarqueurs chimiques les plus précoces sont souvent ceux liés aux mécanismes de défense induits par l'organisme. Les herbicides sont des substrats des protéines de résistance aux multixénobiotiques (**Leslie et al., 2001**). De manière générale, la présence de xénobiotiques dans les cellules conduit à l'activation des systèmes biochimiques de détoxification.

Les voies de détoxification incluent trois phases possibles (Figure 3):

La phase I : Phase de biotransformation, qui convertit les xénobiotiques, le plus souvent très lipophiles, en des molécules plus polaires, par le biais de processus d'hydrolyses oxydatives variés et/ou réductives (**Komives et Gullner, 2005**). Cette phase fait intervenir des enzymes de détoxification telles que les monooxygénases à cytochromes P450, estérases, oxydases, déhalogénases

La phase II : Phase de conjugaison, qui convertit les xénobiotiques par ajout d'un groupement sucre, acide aminé ou de petits peptides. Cette phase de la métabolisation peut intervenir directement ou après le passage par la phase I de biotransformation. Le conjugué ainsi formé est également plus hydrophile que la molécule de départ et moins toxique, faisant intervenir des enzymes de détoxification avec principalement les Glutathion-S-Transférases (GSTs) et les UDP-Glycosyltransférases (UGTs ou GTs) (**Pflugmacher et al., 1999**, **Loutre et al., 2003**).

La phase III : Phase de séquestration/compartimentation des métabolites conjugués dans la vacuole des cellules végétales ou de fixation aux composants de la paroi cellulaire, comme la lignine, la pectine, la cellulose ou l'hémicellulose (Coleman *et al.* 1997, Dietz et Schnoor 2001).

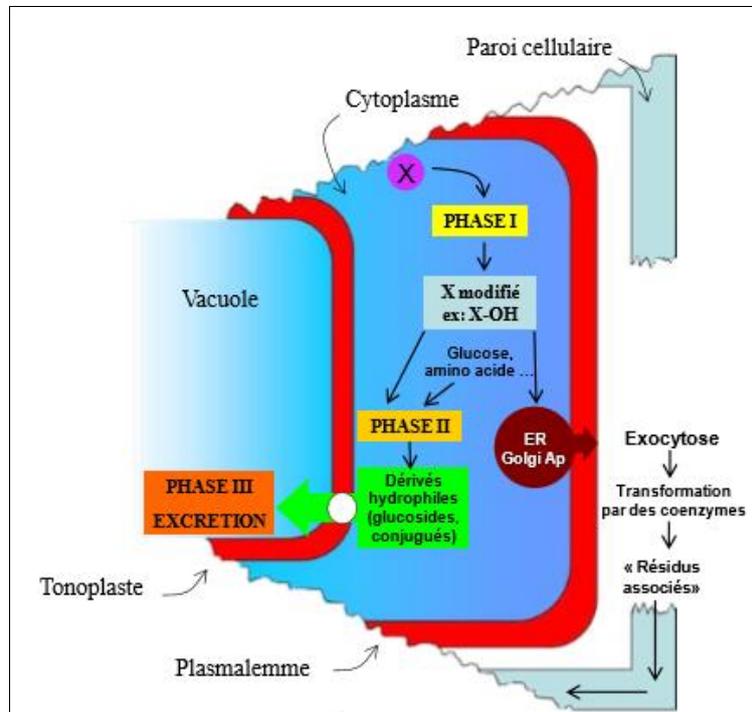


Figure 3. Mécanisme de métabolisation dans la cellule végétale. X: Xénobiotiques, ER: Reticulum Endoplasmique, Golgi Ap: Appareil de Golgi, Ox: Oxydation, Red: Réduction (Tissut *et al.*, 2006).

Le mécanisme de défense antioxydant est également utilisé comme support d'études de biomarqueurs. Le métabolisme aérobie induit en permanence la formation de radicaux libres (molécules contenant un ou plusieurs électrons non appariés). Cette production est compensée par des mécanismes antioxydants, maintenant l'homéostasie redox. Ces mécanismes sont répartis en deux classes : les systèmes de défense enzymatiques (Superoxyde dismutase, catalase et glutathione peroxydase) et non-enzymatiques (glutathion, vitamine E, ascorbate, β -carotène, et urate). Lorsqu'un déséquilibre se crée entre la production et la neutralisation des radicaux libres, l'organisme est soumis à un stress oxydatif. Les radicaux libres tendent en effet à se stabiliser en arrachant les électrons nécessaires à leur stabilité, aux molécules présentes dans la cellule. Les lipides, les protéines et les acides nucléiques sont alors susceptibles d'être altérés, mettant ainsi en jeu l'intégrité des cellules (Polard, 2010).

Les membranes lipidiques, sont particulièrement affectées en cas de stress oxydatif. En raison de leurs doubles liaisons, les acides gras polyinsaturés sont particulièrement sensibles à la peroxydation. En effet, quand un lipide polyinsaturé est oxydé, la formation du radical peroxyde lipidique qui en résulte, peut à son tour oxyder une nouvelle chaîne non saturée et propager la réaction (Figure 4). Les membranes peroxydées perdent leur fluidité et leur perméabilité. De plus la plupart des produits de la lipopéroxydation (radicaux alkoxy, aldéhyde, alcanes, époxyde et alcools) sont toxiques et certains sont mutagènes. Ils peuvent former des adduits à l'ADN (**Polard, 2010**).

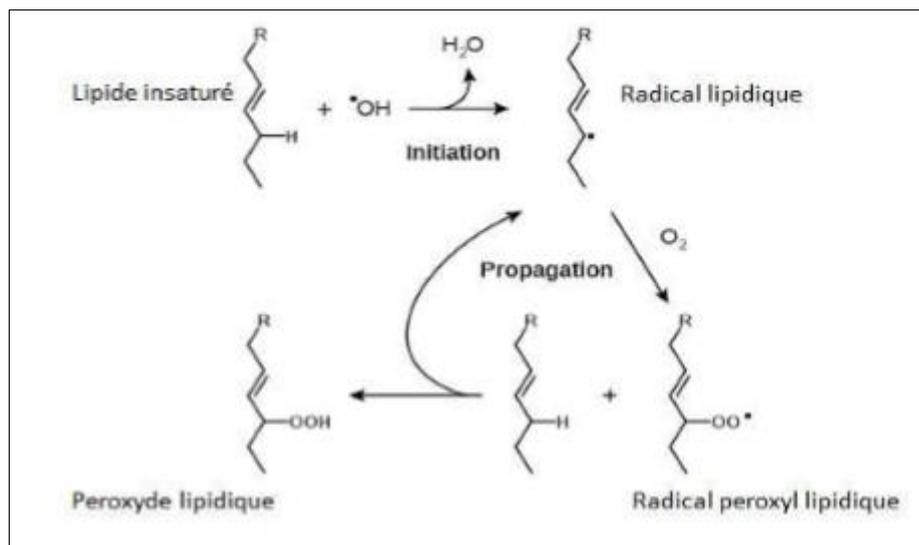


Figure 4. Séquence de réaction de peroxydation lipidique (Young et McEneny, 2001).

Objectifs de travail

Le blé est une céréale importante en termes de consommation intérieure dans de nombreux pays du monde. Il sert principalement à la fabrication de semoule, matière première des pâtes alimentaires (**Feillet, 2000**). La volonté d'augmenter les rendements ont conduit à une utilisation croissante des pesticides. Ces pratiques ont causé, suite à une utilisation massive, une contamination de l'environnement et en particulier une pollution diffuse d'un grand nombre d'aquifères sur l'ensemble du territoire (**Benmahdi, 2008**) et c'est dans ce sens que nous nous sommes intéressés aux **sulfonylurées et acides benzoïques (Sekator et Zoom)** (herbicides largement utilisé en agriculture dans notre région de Tébessa (zone semi arides algérienne).

Tébessa est une ville très ancienne, connue sous le nom de Thevest, durant l'époque romaine. Elle est située à l'extrémité de l'Est Algérien, faisant partie des frontières Algéro-Tunisienne, à environ 240 Km au Sud de Annaba, à 200 Km au Sud-Est de Constantine et à 90 Km au Nord de Bir-el Ater (**Kachi, 2007**).

Dans la plaine de Tébessa, la pollution agricole est due principalement à l'utilisation des engrais et des produits phytosanitaires, le sol est pauvre en matières organiques, donc l'utilisation intensive des engrais, pour maintenir la productivité est indispensable. L'entraînement dans le sol des composés contenus dans les engrais tels que les nitrates, les chlorures, les sulfates, les phosphates et le potassium, peut donner lieu à une pollution accidentelle de la nappe (**Kachi, 2007**).

Cette partie de recherche a pour objectif l'étude du devenir des herbicides sur des organismes vivants (végétaux supérieurs) qui ont été sélectionnés comme modèles biologiques et la capacité de ces modèles choisis à s'adapter à la présence de concentrations homologuées de xénobiotique au plein champ.

Dans le cadre de ce travail, nous tenterons d'apporter notre contribution sur l'utilisation des végétaux supérieurs comme bio-indicateurs de la pollution et par-là même leur comportement vis-à-vis des molécules vraisemblablement inoffensives pour les plantes non ciblées.

Dans cette première partie de la thèse, nous nous sommes fixés trois objectifs principaux :

- L'application des tests de toxicité sur ces végétaux, par le biais du suivi de paramètres morphométriques (**nombre moyen des talles, nombre des épis /m², nombre moyen de grain/épi, poids moyen de grains, hauteur moyenne du plant, nombre moyen des nœuds et la surface foliaire**), des paramètres physiologiques et biochimiques (**teneurs de chlorophylles a, b et a+b, taux de proline, teneur en sucres solubles et teneur en protéines totales**) aussi une étude anatomiques à travers la racine de *Triticum durum* et *Triticum aestivum* a été réalisée.
- L'étude du pouvoir antioxydant de ces végétaux à travers le suivi des bio-marqueurs enzymatiques, tels que: **CAT, APX, GPX** et également des bio-marqueurs non enzymatiques, tels que: **les composés phénoliques et MDA** sous un stress causé par ces herbicides.
- l'analyse de quelques paramètres physico chimiques du sol de culture: Le pH, la conductivité électrique (C.E), la teneur en sodium (Na), la teneur en phosphore (P), la teneur en potassium (K) ainsi que le taux de la matière organique (MO).

Chapitre 2 : matériel et méthodes

Dans ce chapitre, nous avons fait appel à une grande diversité de techniques, dans le but de caractériser les effets des deux herbicides (**Sekator** et **Zoom**) sur la croissance des grains de blé dur (variété **Waha**) et blé tendre (variété **HD**).

A. Matériel expérimental

1. Présentation du matériel biologique

L'étude a porté sur une seule variété de blé dur (Waha) et une seule variété de blé tendre (HD).

1.1. Classification du blé dur, (Gaussen, 1982).

Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Classe	Magnoliophyta
Sous classe	Commelinidae
Ordre	Cyperales
Famille	Poaceae
Sous famille	Poideace
Espèce	<i>durum</i>
Genre	<i>Triticum</i>

1.2. Classification du blé tendre, (Gaussen, 1982).

Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Classe	Magnoliophyta
Sous classe	Commelinidae
Ordre	Cyperales
Famille	Poaceae
Sous famille	Poideace
Espèce	<i>aestivum</i>
Genre	<i>Triticum</i>

1.3. Caractéristiques des cultivars

Les principales caractéristiques des variétés de blés, utilisées sont représentées dans le tableau suivant.

Tableau 3. Caractéristiques des cultivars de blés utilisés

Cultivars	Caractéristiques
Waha	Sélection CIMMYT-ICARDA-Elkhroub. Paille courte et demi pleine, précoce, résistante aux maladies, mieux adapté aux régions arides et semi arides, bonne productivité (Bouthiba et Dabaek, 2009). Elle se caractérise par un haut potentiel de rendement grain, une forte capacité de translocation des hydrates de carbone stockés dans le col de l'épi (Belkherchouche, 2009) et une précocité de floraison qui la rend sensible au gel tardif (Mekhlouf et al., 2006)
HD	Sélection CIMMYT- Elkhroub, précoce à semi précoce, tallage moyen à fort, modérément tolérante à la (verse, aux rouilles : jaune, brune et noire), mieux adapté aux zones (littorales, plaines intérieures et hauts plateaux), bonne productivité (ITGC, 1995).

2. Herbicides utilisés

2.1. Sekator

Le Sekator est un nouvel herbicide sélectif de post-levée. Il contrôle la majorité des mauvaises herbes dicotylédones sur blé dur et blé tendre, il est composé de deux substances actives: l'amidosulfuron-sodium (100 g/l) et 25 g/l d'iodosulfuron-méthyl-sodium (**Florica et al., 2010**). Le Sekator appartient à la famille sulfonylurées qui sont des herbicides à large spectre utilisées dans diverses cultures et présentant une activité biologique importante. Ils exercent leur moyen d'action, en bloquant la division cellulaire au niveau du méristème, en inhibant l'enzyme acétolactate synthase (ALS) qui est capital dans la biosynthèse d'aminoacides essentiels (**Mazzatura et al., 2001**).

2.2. Zoom

Le zoom est un herbicide actif contre les adventices dicotylédones annuels et quelques pérennes sensibles dans la culture du blé. Il est absorbé par les racines et par les feuilles des adventices déjà levées. Il agit principalement par inhibition de la croissance des adventices qui deviennent nécrotiques et meurent en quelques semaines (Ouazar, 2012). Le zoom est la combinaison de deux matières actives : le Triasulfuron (4,1%): $C_{14}H_{16}ClN_5O_5S$ et le Dicamba (65,9%): $(C_8H_6C_{12}O_3)$ (Zouaoui et al., 2013).

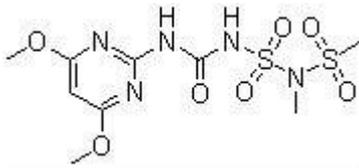
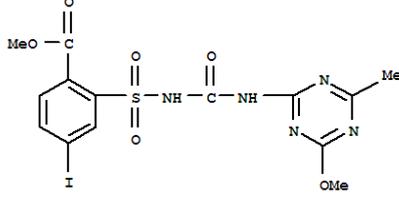
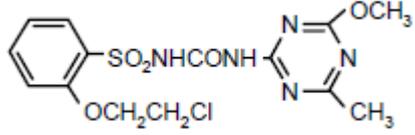
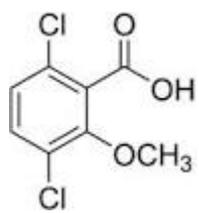
B. Mise en place de l'expérimentation

L'expérimentation a été mise en place, sur des parcelles au niveau du site (1) : Ras el Ayoun (Situé à 30 km au nord de Tébessa, et relevant de la commune d'El Kouif) (Lakehal, 2012), il est situé à une latitude $35^{\circ} 31' 5''$ Nord et une longitude $8^{\circ} 17' 40''$ Est, ce site a été utilisée pour la culture des deux variétés de blé dur (waha) et du blé tendre (HD). Aussi le site (2) de El Houdjbat, pour la culture de la variété waha seulement (Situé à 29,1 km au sud de Tébessa, et relevant de la commune d'el Ma labiod de la wilaya de Tébessa situé à une altitude de 1182m et une latitude $35^{\circ} 17' 50''$ Nord et une longitude $8^{\circ} 17' 36''$ Est) (wikimapia, 2013). Notre expérimentation a débutée lors de la campagne 2012/2013. Le labour profond de la jachère a été réalisé au mois de février 2012, avec une charrue 4 à socs. Il était suivi des deux passages croisés du cover crop 6/12, aux mois d'avril et de mai pour fermer le labour et détruire les messicoles de printemps. Au mois de décembre 2012, le lit de semis est préparé par un double passage du cover crop et de la herse, après l'épandage de 100 kg ha^{-1} de superphosphate à 46%. Le semis est réalisé avec un semoir en ligne de marque solla, à raison de 300 graines par m^2 .

L'expérimentation a reçu au mois de mars 100 kg ha^{-1} d'urée à 46%, et un désherbage chimique avec un mélange de Sekator (l'amidosulfuron-sodium (100 g/l) et 25g/l d'iodosulfuron-méthyl-sodium) et du zoom (4,1% de Triasulfuron et 65.9% de Dicamba).

Les échantillons des variétés Waha, traités avec l'herbicide Zoom (feuilles, racines et sols) sont prélevés au niveau de la parcelle d'El Houdjbat, alors que tous les autres échantillons (témoin et traités) des deux variétés Waha et HD ont été prélevées des sites cultivés au niveau des parcelles de Ras El Ayoun.

Tableau 4. Structure chimique de la matière active de l'herbicide Sekator et Zoom
(Chnirheb, 2012 ; Vulliet *et al.*, 2002)

Matière active	Structure chimique
Amidosulfuron-sodium	 <p>The structure shows a pyrimidin-2,4-dione ring substituted with two methoxy groups at the 5 and 6 positions. It is linked via an amide bond to a sulfonamide group, which is further substituted with a methyl group and a sodium atom.</p>
Iodosulfuron-methyl-sodium	 <p>The structure features a benzene ring with a methoxycarbonyl group and an iodine atom. It is connected to a sulfonamide group, which is further linked to a pyrimidin-2,4-dione ring substituted with a methyl group and a methoxy group.</p> <p style="text-align: center;">• Na</p>
Triasulfuron	 <p>The structure consists of a benzene ring with a propylsulfonamide group and a chloroethyl ether group. It is linked to a pyrimidin-2,4-dione ring substituted with a methoxy group and a methyl group.</p>
Dicamba	 <p>The structure is a benzene ring with two chlorine atoms at the 3 and 5 positions, a methoxy group at the 4 position, and a carboxylic acid group at the 1 position.</p>

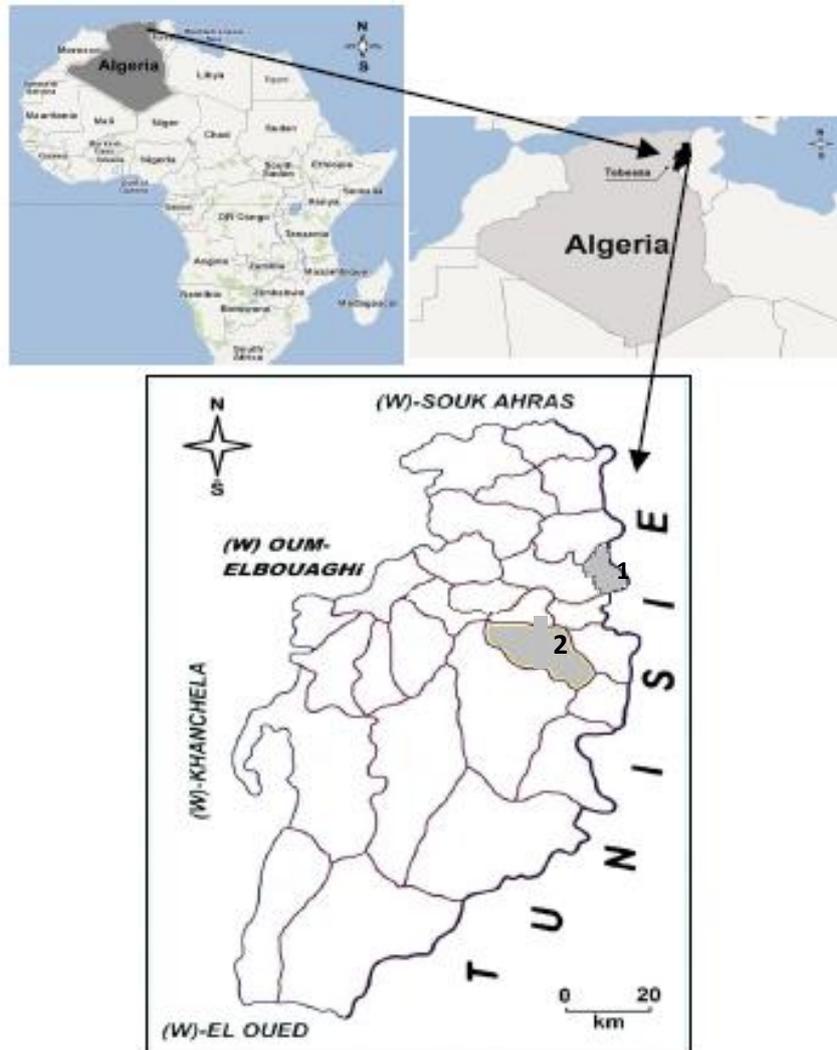


Figure 5. Représentation des sites d'échantillonnage de la plaine de Tébessa (Algérie).

Site (1) : Ras el Ayoun (Situé à 30 km au nord de Tébessa, et relevant de la commune d'El Kouif.

Site (2) de El Houdjbat (Situé à 29,1 km au sud de Tébessa, et relevant de la commune d'El Ma labiod.

C. Paramètres étudiés

a. Paramètres morphométriques

1. Caractères de production

Nombre de talles herbacés

Le tallage herbacé, est déterminé par comptage direct de nombre de talles herbacés (à l'exception de maître brin) de stade quatrième feuille jusqu'au stade début gonflement, avec 10 répétitions par plante / espèce et on en déduit ensuite la moyenne.

Nombre d'épis / mètre carré

Le tallage épi, est déterminé par comptage direct du nombre de talles épis au stade maturité, au niveau des champs témoin et traités. On réalise 3 répétitions par plante / espèce et on en déduit ensuite la moyenne des talles épis / plante.

Nombre de grains / épi

Il est obtenu par comptage direct des dix échantillons aléatoires pour chaque variété témoin et traités. On en déduit ensuite la moyenne.

Poids moyen de grains

Il est déterminé par une pesée des grains des dix échantillons aléatoires, de chaque variété, à l'aide d'une balance de précision, aussi la pesée de 100 grains, de chaque échantillon, dont le poids est multiplié par 10, pour déterminer le poids de mille grains, les résultats sont rapportés en g.

Estimation du rendement

Elle est obtenue selon la formule suivante :

$$\text{Rendement} = \text{Nombre d'épis/ m}^2 \times \text{Nombre de grains / épi} \times \text{Le poids de mille grains (PMG)/ 1000}$$

Le rendement est exprimé en g/ m² puis en qx/ha.

2. Caractères d'adaptation

Hauteur des plants

On mesure 10 échantillon aléatoires / espèce témoin et traitée, au stade maturité à partir du ras du sol jusqu'aux sommets des barbes de l'épi à l'aide d'une règle graduée. Elle est exprimée en cm. On en déduit ensuite la moyenne.

Nombre de nœuds

Il est obtenu au stade maturité, par comptage direct de nombre de nœuds de 10 échantillons aléatoires / espèce témoin et traitée. On en déduit ensuite, la moyenne du nombre de nœuds / plante.

Surface de la feuille étandard (SF « cm² »)

La surface foliaire est estimée par la méthode de **Paul *et al.* (1979)**, qui consiste à :

- prendre la feuille de blé sur papier calque et découper les contours de la feuille, ce dernier est pesé (Pf).
- couper un carré de 1cm (S (1cm²)) de coté de ce même papier qui est également pesé (P (1cm²)).
- déduire la surface foliaire SF par la formule suivante :

$$SF (cm^2) = Pf. S (1cm^2) / P (1cm^2)$$

On mesure les feuilles de 10 échantillons aléatoires (témoin et traités) au stade début remplissage du grain. Elle est exprimée en cm².

b. Paramètres physiologiques

Dosage des chlorophylles *a*, *b* et (*a+b*) dans les feuilles

L'extraction de la chlorophylle *a* est effectuée, selon la méthode de (**Holden, 1975**), basée sur une macération du végétal dans de l'acétone, le traitement des échantillons se fait comme suit :

- 100 mg (pour chaque essai prélevé sur les tiers médians des plus jeunes feuilles, sont broyés dans de l'acétone à 80% et environ 100mg de bicarbonate de calcium (CaCO₃).
- Après broyage total, la solution est ensuite filtrée et mise dans des boîtes noires, afin d'éviter l'oxydation des chlorophylles par la lumière.
- La lecture se fait aux deux longueurs d'onde 645 nm et 663 nm, après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80%.
- La formule relative au solvant, nous permet de calculer les valeurs des chlorophylles (**Arnon, 1949**).

$$\text{Chl } a = 12,70 \cdot \text{DO}(663) - 2,69 \cdot \text{DO}(645)$$

$$\text{Chl } b = 22,90 \cdot \text{DO}(645) - 4,60 \cdot \text{DO}(663)$$

$$\text{Chl } (a+b) = 8,02 \cdot \text{DO}(663) + 20,20 \cdot \text{DO}(645) \text{ V/M;}$$

Les concentrations en chlorophylle, totale (chlorophylle *a* et *b*), sont exprimés en mg/g de PF (Poids Frais).

c. Paramètres biochimiques

Dosage des protéines totales.

Les protéines totales foliaires de *Triticum*, sont dosées selon la méthode de **Bradford, (1976)** utilisant l'albumine de sérum de bœuf (BSA) comme standard (Merk). La gamme d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution mère de BSA (1mg/ml).

Le dosage des protéines totales est effectué avec une fraction aliquote de 100µl.

Les densités optiques sont mesurées grâce à un spectrophotomètre (Jenway- 6300), la mesure est réalisée à une longueur d'onde de 595 nm.

Les protéines foliaires sont déterminées à partir de la courbe de référence (Annexe 1: Figure 1).

Dosage de la proline.

La technique de dosage de la proline utilisée est celle de **Monneveux et Nemmar, (1986)**. Elle est réalisée comme suit : 100 mg de matière fraîche prélevés de chaque répétition, sont mises dans des tubes à essai, auxquels on ajoute 2 ml de Méthanol à 40%, le tout est chauffé au bain-marie à 85°C pendant 1 heure. Après refroidissement, on prélève 1 ml de la solution, auquel on ajoute 1 ml d'acide acétique (CH₃COOH) et 1 ml de mélange (120 ml d'eau distillée + 300 ml d'acide acétique + 80 ml d'acide orthophosphorique) et 25 mg de ninhydrine.

Les solutions sont portées à ébullition pendant 30 mn, elles virent au rouge ; après refroidissement, on ajoute 5 ml de toluène, et on procède à une agitation, deux phases se séparent :

- Une phase inférieure sans proline.
- Une phase supérieure qui contient la proline. Cette phase est ensuite récupérée et déshydratée par l'adjonction de Na₂SO₄.

On procède enfin à la détermination des densités optiques des échantillons à la longueur d'onde 528 nm, après étalonnage de l'appareil par le mélange: acide acétique + eau distillée + acide orthophosphorique + ninhydrine. (Courbe de référence, voir Annexe 1: Figure 2).

Dosage des sucres solubles.

Le dosage des sucres solubles est réalisé selon la méthode de **Schiels et Burnet, (1960)** qui utilise l'anthrone en milieu sulfurique comme réactif (150 mg d'anthrone, 75 ml d'acide sulfurique et 25 ml d'eau distillée) et une solution mère de glucose à 50 µg/ml. Cette méthode comprend l'extraction, où 100 mg d'échantillon (MF) sont pesés. On ajoute ensuite 3 ml d'éthanol à 80%, on laisse le tout à une température ambiante pendant 48 h environ. On chauffe au bain marie à 70°C, pendant 30 min, et on prélève 2 ml d'extrait pour le dosage.

Le dosage des sucres totaux foliaires est effectué dans une fraction aliquote (100) µl. Les absorbances sont mesurées grâce à un spectrophotomètre (Jenway- 6300) et la lecture est réalisée à une longueur d'onde de 585 nm. (Courbe de référence, voir Annexe 1: Figure 3).

d. Dosage des Biomarqueurs

1. Dosage enzymatique

Dans le but d'étudier le comportement des deux espèces de blé soumises aux deux herbicides, trois marqueurs enzymatiques ont été utilisés.

Extraction enzymatique

La méthode adaptée, afin d'obtenir l'extrait enzymatique des feuilles de blé traitées avec le Sekator et le Zoom, est celle de **Loggni et al., (1999)**.

L'extrait sera utilisé sur la mesure de l'activité catalase (CAT), Guaiacol peroxydase (GPX) et ascorbate peroxydase (APX).

Après neuf jours de traitement, les feuilles fraîches (1g) sont broyées à froid à l'aide d'un mortier dans un tampon phosphate (50 ml Na K, pH = 7,2) à raison de 5 ml du tampon pour 1 g de feuilles. L'homogénat est ensuite filtrée à l'aide d'une toile adéquate avant de procéder à une centrifugation à froid à 12000x g pendant 20 min (centrifugeuse Sigma 3-16 K).

Le surnageant obtenu, sera utilisé comme extrait pour la détermination des différents extraits enzymatiques.

Quantification des mesures spectrophotométriques

La formule suivante, est utilisée afin de quantifier les différentes mesures spectrophotométriques, suite aux dosages enzymatiques de la CAT, GPX et APX (**Servais, 2004**).

$$\text{Act} = \frac{\Delta A \cdot Vt}{\varepsilon \cdot \Delta t \cdot L \cdot Ve \cdot P}$$

Act : activité enzymatique en mol /min / μ g de protéine.

ΔA : différence moyenne de l'absorbance

ε : coefficient d'extinction linéique molaire en $M^{-1} \text{ cm}^{-1}$. L.

Vt : volume total du mélange réactionnel en ml.

Ve : volume de l'extrait enzymatique en ml.

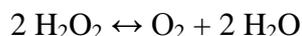
P : teneur en protéines en mg.

T : temps de culture en min.

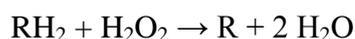
L : largeur de la cuve en cm.

Dosage de l'activité Catalase (CAT)

Cette enzyme fonctionne de deux façons. A forte concentration en H₂O₂, elle décompose le H₂O₂ comme le montre la réaction suivante :



Quand la concentration en H₂O₂ est faible (< 1 μM), elle agit comme une peroxydase en oxydant un substrat hydrogéné suivant la réaction :



Le donneur d'hydrogène (RH₂) pouvant être de nature variée comme l'ascorbate, etc (**Scandalios, 2005**).

Le dosage spectrophotométrique de l'activité Catalase (CAT) est réalisé suivant la méthode de **Boscoloa et al., (2003)**. La décroissance de la DO est enregistrée pendant 1 mn pour une longueur d'onde de 240 nm et un coefficient d'extinction linéique molaire $\epsilon = 39400 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ L}$. Pour un volume final de 3 ml, le mélange réactionnel contient 100 μl de l'extrait enzymatique brute, 50 μl de peroxyde d'hydrogène H₂O₂ à 0,3 % et 2,850 ml de tampon NaK (50 mM Na K, pH= 7,2). L'étalonnage de l'appareil se fait en l'absence de l'extrait enzymatique.

La réaction est déclenchée par l'addition d'eau oxygénée. L'activité catalase est exprimée en nmol/min/mg de prot.

Dosage de l'activité ascorbate peroxydase (APX)

L'ascorbate peroxydase catalyse la réaction suivante :



Le dosage spectrophotométrique de l'activité ascorbate peroxydase est réalisé suivant la méthode de **Manivannan, (2007)**. Le volume réactionnel final de 3 ml contient : 100 μl d'extrait enzymatique, 50 μl H₂O₂ à 0,3 % et 2850 μl de tampon NaK. Ascorbate (50 mM NaK, 0,5 mM Ascorbate, pH = 7,2) L'étalonnage de l'appareil se fait en l'absence de l'extrait enzymatique. La lecture est effectuée à une longueur d'onde de 290 nm (spectrophotomètre GeneSys 8) pendant 1min et ce pour un coefficient d'extinction linéaire molaire $\epsilon = 2800 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ L}$. L'activité APX est exprimée en nmol /min / mg Prot.

Dosage de l'activité guaiacol peroxydase (GPX)

Le dosage repose sur l'utilisation du guaiacol comme substrat des peroxydases. En présence de l'eau oxygénée, il y a formation de tétraguaiacol qui présente un maximum d'absorption à 470 nm, permettant donc de déterminer l'activité enzymatique (Figure 6).

L'activité guaiacol peroxydase (GPX) est déterminée spectrophotométriquement à 470 nm suivant la méthode de **Hiner et al., (2002)**. Le coefficient d'extinction linéique molaire est $\Sigma = 2470 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ L}$ pour un volume final de 3 ml, le mélange réactionnel contient: 100 μl d'extrait enzymatique, 50 μl d' H_2O_2 à 0,3 % et 2,850 ml de tampon Na K – guaiacol (50 mM NaK, 8 mM de guaiacol pH 7,2).

L'étalonnage de l'appareil se fait en l'absence de l'extrait enzymatique. La réaction est déclenchée par l'ajout du peroxyde d'hydrogène. L'activité GPX est exprimée en nmol/min /mg de prot.

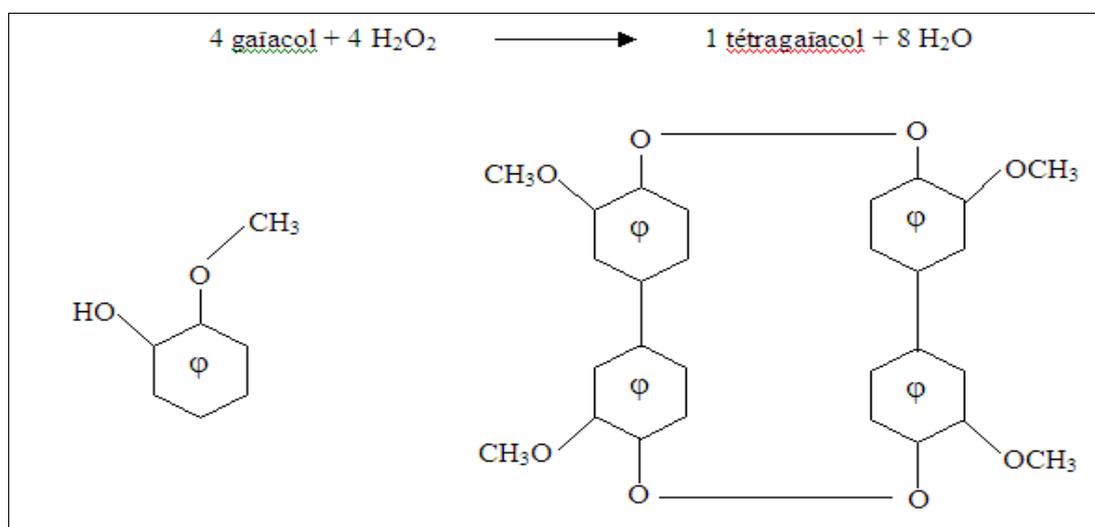


Figure 6. Réaction d'oxydation du guaiacol en tétraguaiacol en présence du H_2O_2 permettant de mesurer l'activité de la GPX (Aoun, 2009).

2. Analyse des lipoperoxydes membranaires

Les plantes soumises à des stress présentent une chaîne de peroxydation de lipides amenant finalement à la production de malondialdéhyde (MDA) (Figure 7).

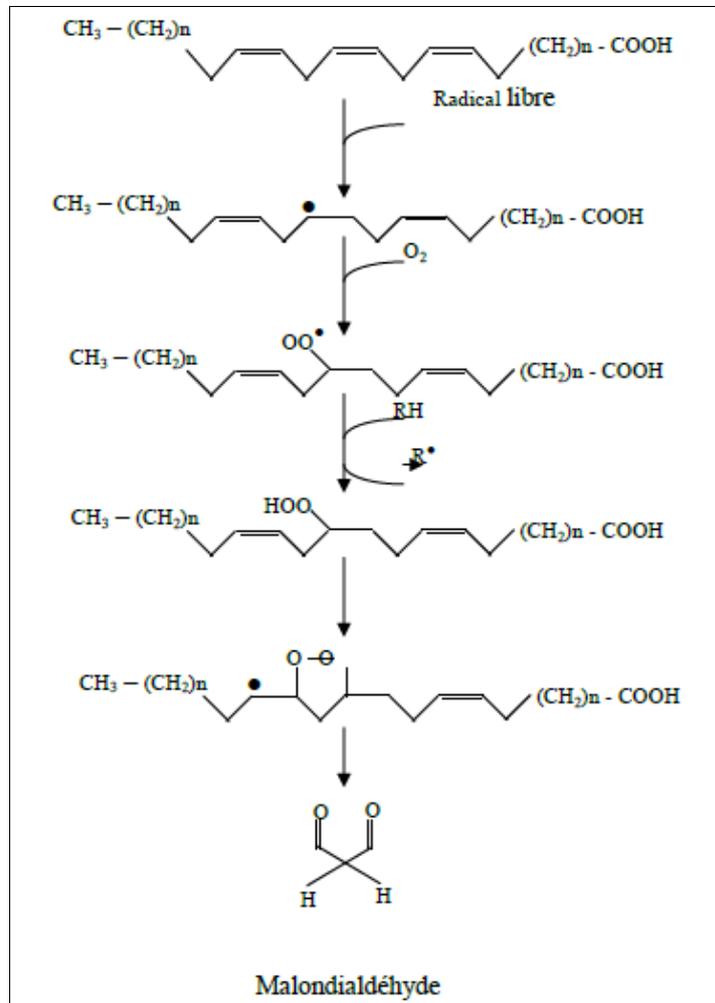


Figure 7. Formation de malondialdéhyde suite à la progression de la chaîne de peroxydation des lipides en réponse à un stress oxydatif (Ames *et al.*, 1993).

La peroxydation des lipides est estimée par mesure du malondialdéhyde (MDA) produit, capable de réagir avec l'acide 2-thiobarbiturique (Figure 8).

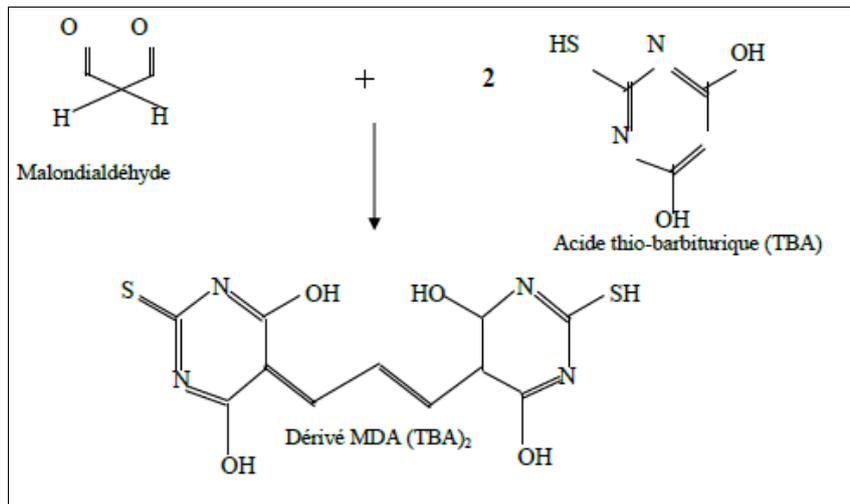


Figure 8. Réaction de condensation du MDA avec l'acide thio-barbiturique formant le dérivé coloré : MDA (TBA)₂, mesuré par spectrophotométrie à 532 nm (Aoun, 2009).

La peroxydation lipidique a été estimée par la détermination du malonyldialdéhyde (MDA) contenu dans les feuilles (**Hernandez et Almansa, 2002**). Deux cent milligrammes des feuilles fraîches de plantules de blé ont été homogénéisés dans 2 ml d'acide trichloracétique à 0,1% (TCA). L'homogénat a été centrifugé à 15 000 g pendant 10 min à 4 °C. Puis 0,5 ml du surnageant a été mélangé avec 1,5 ml de 0,5% acide thiobarbiturique (TBA) préparé dans TCA 20%, et incubé à 90 °C pendant 20 min. La réaction est arrêtée par un refroidissement immédiat dans un bain de glace pendant 10 minute, les échantillons ont été centrifugés à 10 000 g pendant 5 min, puis récupérés pour le dosage colorimétriques (**Kssouri et al., 2007**).

Le dosage est effectué par spectrophotométrie. L'absorbance du complexe TBA-MDA est mesuré à 532 nm contre un blanc constitué de tampon d'extraction. La densité optique est corrigée par une lecture à 600 nm. La concentration de MDA est calculée en utilisant son coefficient d'extinction molaire ($\epsilon = 155\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$).

$$\text{MDA (nmol/g MF)} = \frac{(A_{532} - A_{600}) \times V}{155 \times \text{MF}} \times 1000$$

A = Absorbance
 V = Volume de l'extrait (mL)
 MF = Matière végétale fraîche (g)

3. Dosage des composés phénoliques

3.1. Préparation des extraits phénoliques

Après neuf jours de traitement, les jeunes feuilles sont récoltées, puis nettoyées et mis à sécher pendant 10 jours à température ambiante dans un endroit aéré à l'ombre pour mieux conserver les molécules sensibles à la chaleur et à la lumière. Elles sont ensuite broyées à l'aide d'un moulin à café. Le broyat va constituer la matière sèche qui va servir à l'extraction des composés phénoliques.

3.2. Extraction des extraits bruts méthanoliques

L'extraction est effectuée à partir de la matière sèche finement broyée, elle comporte deux étapes la délipidation et l'extraction.

Délipidation de la poudre

Méthode qui consiste à éliminer les lipides de la poudre afin d'éviter toute interaction lors de l'extraction et du dosage des polyphénols. Elle a été décrite par **Hansen, (1998)** et modifiée par **Niemenak et al., (2006)**. Elle consiste à:

- ✓ mélanger deux grammes de poudre à 10 ml d'hexane ;
- ✓ le mélange obtenu est ensuite filtré sous vide et l'hexane favorise l'extraction des lipides dans l'erenmeyer du dispositif de filtration sous vide. La poudre humide restante dans le filtre büchner constitue la poudre délipidée ;
- ✓ la poudre délipidée est ensuite séchée pendant 2 h à la température ambiante ;
- ✓ elle est introduite dans des flacons noirs étiquetés et conservée dans la chambre froide.

Extraction

1g de matériel végétal de poudre de la feuille est placé dans un erlenemeyer dans 20 ml de méthanol pendant 24 h, après filtration, les solutions méthanoliques sont évaporées à sec sous pression réduite dans un évaporateur rotatif à 60°C. Les résidus secs pesés sont repris par 3 ml du méthanol (Figure 9).

On peut aussi avant l'extraction des différents composés phénoliques, faire subir les feuilles de blé, une macération dans le chloroforme pendant 6 heures afin d'éliminer la chlorophylle (**Matkowski et Piotrowska, 2006**).

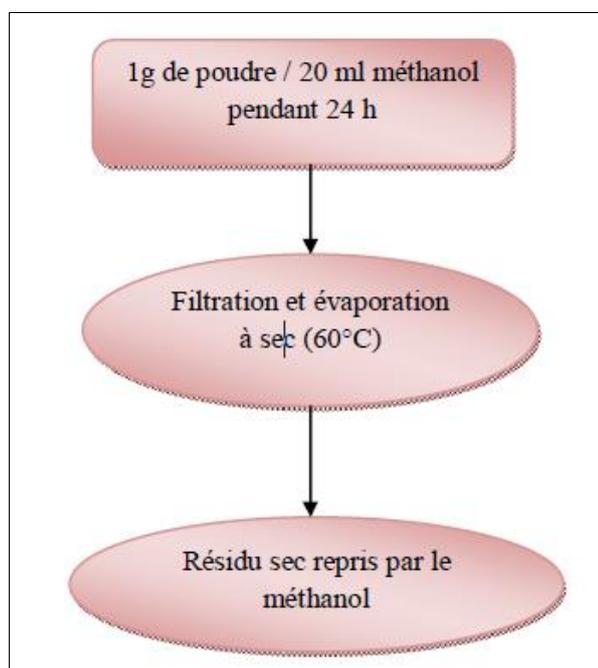


Figure 9. Protocole d'extraction des extraits bruts

Dosage des phénols totaux

Les composés phénoliques ou polyphénols sont des métabolites secondaires caractérisés par la présence d'un cycle aromatique portant des groupements hydroxyyles libres ou engagés avec un glucide. Les plus représentés sont les anthocyanes, les flavonoïdes et les tannins. Le dosage des polyphénols totaux par le réactif de Folin-Ciocalteu (Figure 10) a été décrit dès **1965** par **Singleton et Rossi**. Le réactif est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (**Ribéreau-Gayon, 1968**). La coloration produite, dont l'absorption maximum est comprise entre 725 et 750 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (**Boizot et Charpentier, 2006**).

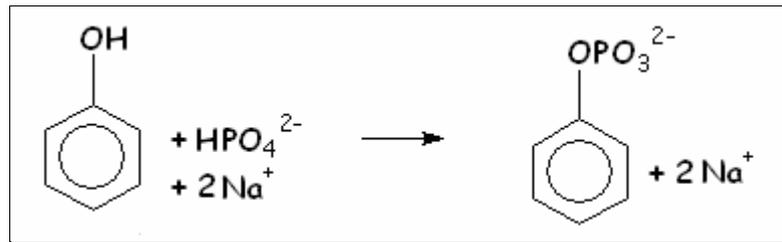


Figure 10. Principe de la réduction du réactif de Folin Ciocalteu (Singleton et Rossi, 1965).

• **Mise en œuvre pratique**

Un volume de 200 µl de l'extrait brut méthanolique des feuilles sont introduits dans des tubes à essai, le mélange (1ml du réactif de Folin- Ciocalteu dilué 10 fois et 0,8 ml de carbonate de sodium à 7, 5%) est additionné. Les tubes sont agités et conservés durant 30 minutes à la température ambiante. L'absorbance est mesuré à 765 nm contre un blanc, à l'aide d'un spectrophotomètre Jenway 6504 UV/VIS.

Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique, comme contrôle positif. Les résultats sont exprimés en microgramme (µg) équivalent d'acide gallique par gramme de la matière végétale sèche (µg EAG/g de MS). (Courbe de référence, voir Annexe 1: Figure 5).

La quantité de phénols est exprimée en unités selon la formule suivante :

$$\text{Phénols totaux} = \frac{A_{765} \times V}{MF}$$

A = Absorbance à 765nm

V = Volume de l'extrait (mL)

MF = Matière végétale fraîche (g)

Dosage des flavonoïdes

La quantification des flavonoïdes est effectuée par une méthode adaptée par **Zhishen et al., (1999)** avec le trichlorure d'aluminium et la soude. Le trichlorure d'aluminium forme un complexe jaune avec les flavonoïdes et la soude forme un complexe de couleur rose absorbe dans le visible à 510 nm.

• Mise en œuvre pratique

500 µl de l'extrait brut méthanolique des feuilles convenablement diluées sont mélangés avec 1500 µl d'eau distillée, suivis de 150 µl de nitrite de sodium (NaNO_2) à 5%. Après 5 min, 150 µl de trichlorure d'aluminium (AlCl_3) à 10% (m/v) est rajouté au mélange. Après 6 min d'incubation à la température ambiante, 500 µl d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 4% est additionné. Immédiatement, le mélange est complètement agité afin d'homogénéiser le contenu. L'absorbance de la solution de couleur rosâtre est déterminée à 510 nm contre un blanc.

Une courbe d'étalonnage, est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant de la catéchine comme contrôle positif (Courbe de référence, voir Annexe 1: Figure 6).

La teneur en flavonoïdes totaux, des extraits de plants étudiés est exprimée en milligramme (mg) équivalent de la catéchine par gramme de la matière végétale sèche (mg EC/g de MS).

Dosage des tanins

Les tanins condensés sont déterminés par la méthode à la vanilline en milieu acide (**Price et al., 1978**). Cette méthode est basée sur la capacité de la vanilline à réagir avec les unités des tanins condensés en présence d'acide pour produire un complexe coloré mesuré à 500 nm. La réactivité de la vanilline avec les tanins, n'implique que la première unité du polymère. Les quantités des tannins sont estimées, en utilisant la méthode de vanilline décrite par **Julkunen-Titto (1985)**.

• Mise en œuvre pratique

Un volume de 50 µl de l'extrait brut est ajouté à 1500 µl de la solution vanilline/méthanol (4%, m/v) puis mélangé à l'aide d'un vortex, nous additionnons 750 µl de l'acide chlorhydrique concentré (HCl). Le mélange obtenu est laissé réagir à la température ambiante pendant 20 min. L'absorbance est mesurée à 550 nm contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre Jenway 6504 UV/VIS.

Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant de la catéchine comme contrôle positif (Courbe de référence, voir Annexe 1: Figure 7).

Les résultats sont exprimés en milligramme (mg) équivalent de la catéchine par gramme de la matière végétale sèche (mg EC/g de MS).

3.3. Evaluation de l'activité antiradicalaire (DPPH)

Selon **Denes, (2006)** plusieurs protocoles de dosage mesurent l'activité antioxydante par le piégeage des radicaux libres, c'est-à-dire l'activité antiradicalaire.

Le test au DPPH (2, 2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl), est basé sur le piégeage du radical libre stable DPPH par une molécule antiradicalaire, ce qui entraîne la décoloration du DPPH (**Morales et Jimenez-Perez, 2001**).

Le test est basé sur le piégeage de radicaux libres et mesure une activité antiradicalaire. Aussi, il est rapide et facile à mettre en œuvre, s'effectue à température ambiante, ceci permettant d'éliminer tout risque de dégradation thermique des molécules testées.

Méthode

On utilise le DPPH pour remplacer les radicaux libres produits par les cellules en réponse à des stress externes ou internes. Pour déterminer le rôle antiradicalaire (scavenging activity), de nos échantillons par le test DPPH nous avons opté pour la méthode de **Zielinski (2000)**. Les extraits actifs utilisés représentent les extraits bruts méthanoliques. Cette analyse est employée pour examiner le potentiel des piégeages des radicaux libres dans des extraits des céréales (**Brand-Williams et al., 1995**).

Protocole

On prépare une solution méthanolique de DPPH (100 μ M), puis on mesure l'absorbance de 1.5 ml à 517nm (longueur d'absorption du DPPH), on ajoute 15 μ l de l'extrait testé. La lecture se fait par un spectrophotomètre UV/visible. Comme témoin, on utilise la quercetine sous forme de solution 1 molaire (même concentration que les extraits: (1g/l).

Le pourcentage d'inhibition du DPPH par l'extrait est calculé comme suit:

$$\% \text{ inh} = (\text{ABS}_{\text{DPPH}} - \text{ABS}_{\text{FINALE}} / (\text{ABS}_{\text{DPPH}}) \times 100, \text{ (Bolskakova, 1989)}.$$

Avec:

- ✓ % inh: pourcentage d'inhibition du DPPH
- ✓ ABS_{DPPH} : Absorbance du DPPH à 517nm
- ✓ $\text{ABS}_{\text{FINALE}}$: la valeur stable de l'absorbance après l'ajout de l'extrait.

e. Etude de l'anatomie des racines des plantes étudiées

Nous avons prélevé, au niveau des zones terminales (Apex) des racines des sections d'une longueur de 1 à 2 cm. Les échantillons sont mis dans de l'eau distillée et transférer au laboratoire, afin d'éviter leur dessèchement.

Nous avons réalisé les coupes histologiques, au niveau de la structure primaire, selon la technique manuelle, dite, à main levée. Puis nous avons procédé à la coloration des sujets, selon la technique de la double coloration (carmino-vert de Mirande) conformément aux étapes suivantes (**Zaffran, 1998**):

- ✓ A l'aide d'une lame de rasoir, nous avons découpé les sections d'organes étudiés, en plusieurs tranches fines. Puis, nous avons choisi parmi elles, les plus fines et conformes.
- ✓ Les tranches obtenues sont mis dans un verre de montre, contenant de l'eau de javel (détruire le contenu cellulaire et préserve les parois pecto-cellulosiques)
- ✓ Les coupes sont transférées vers un deuxième verre de montre (elles subissent un rinçage à l'eau distillée (x3) afin d'éliminer les traces de l'eau de javel).

- ✓ Ces coupes, sont ensuite mises dans un troisième verre de montre, contenant de l'acide acétique à 1% (mordant cellulaire favorise la coloration), pendant deux minutes (élimination de toute trace de l'eau de javel).
- ✓ On procède alors à la coloration des coupes dans un quatrième verre de montre contenant du vert d'iode et le carmin aluné. Après coloration, les échantillons sont mis dans de l'alcool (70%) (Remplacer l'eau contenue dans les cellules et conserver ainsi les coupes obtenues).

Après avoir mis les échantillons entre lame et lamelle, dans une goutte de glycérine, nous avons procédé à la visualisation des coupes histologiques sous microscopique optique. Ce dernier est équipé d'appareil photo couleur, avec laquelle, nous avons réalisé les prises de photos de ces coupes. On peut aussi utiliser un appareil photo numérique.

f. Analyse pédologique du sol

L'analyse physico-chimique du sol a été réalisée au laboratoire selon plusieurs méthodes. Le calcul des concentrations réelles du K, Na et P a été fait à partir de leurs équations correspondantes, qui ont été déduites des courbes des gammes d'étalonnages et par des conversions prenant en considération toutes les dilutions qui ont été faites (Annexe 1.2).

Mesure du pH

La mesure du pH a été effectuée à l'aide d'un pH mètre sur 10g de sol tamisé à 2 mm, prélevé dans les stations El Malabiod et Ras El Ayoun de la wilaya de Tébessa, et mis en suspension dans 5 ml d'eau distillée. Après agitation pendant 1 mn, on laisse reposer 30 minutes puis on mesure le pH de la suspension.

Mesure de la conductivité

La conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un conductimètre, en fonction de la concentration en électrolytes dans une solution d'extraction aqueuse au 1/5 selon le tableau 5 (Richards, 1954).

Tableau 5. Classe de la salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux à 25°C (Mathieu et al., 2003).

mmhos. cm ⁻¹ 1	0,6		1	2	3	4
ds. m ⁻¹						
CE _{1/5}	non salé		légèrement salé	salé	très salé	
CE _{1/10}	non salé	légèrement salé	salé	très salé	extrêmement salé	

Mesure de la texture

Elle est déterminée par la méthode de saturation qui consiste à mesurer le pourcentage d'humidité du sol et à le comparer à une échelle (Annexe 3, tableau 01) qui détermine la texture qui lui correspond (ITA, 1975).

Dosage du carbone organique

La méthode utilisée est dérivée de celle décrite par Anne en 1945 ; elle est effectuée suivant la norme AFNOR NF ISO 14235. Elle repose sur le fait que la matière organique du sol peut être oxydée par un traitement avec un mélange de K₂Cr₂O₇ et de H₂SO₄ suivant la réaction suivante :



Une prise d'essai (1g de sol tamis) est introduite dans un erlenmeyer. On y ajoute 10 ml de bichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) à 8% et 13 ml d'acide sulfurique concentré. Le mélange est agité pendant 5' à ébullition puis laissé refroidir. Ensuite, on rajoute 100 mL d'eau de rinçage, on prélève 20 ml dans un bécher et on dilue jusqu'à 100 ml avec de l'eau distillée.

La solution obtenue est de couleur orangée. On y ajoute 1g de Naf et 3 à 4 gouttes de diphénylamine (indicateur coloré). La solution prend alors une couleur vert intense due à la

formation de sulfate de chrome. Les échantillons sont titrés en retour par le sel de Mohr à 0,2N. La liqueur primitive de couleur brune noirâtre vire au vert, on trouve X ml.

On prépare un témoin avec les mêmes solutions mais sans mettre du sol.

On utilise la relation suivante pour déterminer la concentration du carbone :

$$C\% = (Y-X) \times 0,615 \times 100/20 \times 100/p \times 1/1000.$$

Y : sel de Mohr utilisée lors du titrage du témoin « ml ».

X : sel de Mohr utilisée lors du titrage de l'échantillon « ml ».

P : poids du sol.

Matière organique est égale au pourcentage du carbone total x 1,72.

$$MO\% = C\% \times 1,72.$$

Dosage du phosphore assimilable

L'extraction du phosphore assimilable, est réalisée selon la méthode **d'Olsen, (1954)** cité par **Gharoucha, (1995)**. Cette méthode consiste à dissoudre 5 g de terre, dans 100 ml d'une solution de Bicarbonate de Sodium Na_2CO_3 (0.5N), agitation pendant 30 min puis une filtration avec le papier Wattman. On prend 5 ml du filtrat dans un erlenmeyer de 25 ml, y ajouter 5 ml de molybdate d'ammonium, puis diluer avec l'eau distillée jusqu'à 24 ml. Enfin ajouter 1 ml de $SnCl_2$ (chlorure d'étain), bien agiter et après 10 mn faire la lecture au spectrophotomètre à 660 nm.

Mise en solution d'éléments minéraux

Le sol est tamisé à travers des tamis de 2 mm. Pour le cas des ions K^+ et Na^+ qui sont très solubles dans l'eau, leur extraction est réalisée, par dissolution direct de l'échantillon du sol dans de l'eau distillée, avec un rapport (2/10), puis une agitation, suivie d'une décantation et d'une double filtration. Après la réalisation des courbes d'étalonnage pour chaque élément (Annexe 1.2, figure 01 et 02), on procède au dosage du Na et K, réalisé sur filtrat, par une lecture directe, au moyen d'un photomètre à flamme (**CIRAD, 2004**).

D. Méthodes statistiques d'analyse et de traitement des données

Description des données

Pour mieux décrire les différentes variables morphométriques, physiologiques et biochimiques qui caractérisent chacune des deux espèces de blé étudiées, nous avons calculé certains paramètres statistiques de base tels que la moyenne arithmétique (\bar{X}), qui est un paramètre de position et de tendance centrale, l'écart type (SD) qui mesure la dispersion des données autour de la moyenne et enfin, l'effectif (n) qui nous renseigne sur l'importance des données traitées. Tous ces paramètres ont été calculés à l'aide du logiciel d'analyse et de traitement statistique des données MINITAB (X, 2000).

Le test de l'analyse de la variance (ANOVA).

Le test d'analyse de la variance à un critère ou à un facteur de classification, consiste à comparer plus de deux moyennes de plusieurs populations à partir des données d'échantillons aléatoires simples et indépendants (**Dagnelie, 1999**).

La réalisation du test se fait soit en comparant la valeur de F_{obs} avec une valeur théorique $F_{1-\alpha}$ extraite à partir de la table F de FISHER pour un niveau de signification $\alpha = 0,05$ ou $0,01$ ou $0,001$ et pour k_1 et k_2 degrés de liberté, soit en comparant la valeur de la probabilité P avec toujours les différentes valeurs de $\alpha = 5\%$ ou 1% ou $0,1\%$. Selon que cette hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée au niveau $\alpha = 0,05$, $0,01$ ou $0,001$, on dit conventionnellement que l'écart observé est significatif, hautement significatif ou très hautement significatif. On marque généralement ces écarts d'un, deux ou trois astérisques (**Dagnelie, 1999**).

Pour chacun des paramètres morphologiques, physiologiques, biochimiques, enzymatiques et non enzymatiques, la comparaison des moyennes, entre doses, a été faite pour chacun des herbicides Sekator et Zoom et pour chacune des deux variétés de blé dur et blé tendre.

Les calculs de ce test sont réalisés à l'aide du logiciel d'analyse statistique MINITAB (X, 2000).

La méthode de Dunnett

Le test de Dunnett a été proposé pour le contexte particulier de la comparaison des effets des modalités A_i d'un facteur A avec un niveau de référence de ce facteur, souvent

appelé niveau de contrôle et noté A_c . Cette procédure peut être utilisée, si le plan est équilibré ou non. Il s'agit simplement d'une modification de la valeur critique utilisée avec la statistique du test t de Student pour deux moyennes.

Le test doit être préféré aux autres procédures lorsque nous souhaitons seulement comparer les effets des modalités A_i avec l'effet de la modalité de contrôle A_c d'un facteur A. En effet ce test est dans ce cas généralement plus puissant (**Bertrand et Maumy, 2011**).

Nous avons utilisé ce test de comparaisons multiples pour chercher l'effet de l'un des deux herbicides Sekator ou Zoom sur les différentes analyses physicochimiques du sol.

Chapitre 3 : résultats et discussions

A. Effets des herbicides sur les paramètres morphologiques des espèces étudiées

1. Caractères de production

Les caractères de production sont ceux qui déterminent potentiellement le rendement, tels que le tallage herbacé, le tallage épis, la teneur en chlorophylle, ainsi que le taux de remplissage du grain qui est exprimé par le poids de 1000 grains.

Nombre moyen des talles (NMT)

L'examen des paramètres statistiques de base (Tableau 6), relatif à l'herbicide Sekator, montre que le nombre moyen des talles augmente comparativement au témoin et ceci pour la variété Waha. Ce tallage a tendance à augmenter avec le traitement par l'herbicide Zoom. La dispersion mesurée par l'écart type (SD), quant à elle, est pratiquement élevée pour la variété Waha et HD.

L'étude des résultats de l'analyse de la variance (Tableau 7) dans la comparaison, entre doses, du nombre moyen des talles, donne des différences non significatives pour les deux variétés de blé exposées à l'herbicide Sekator et Zoom.

Tableau 6. Paramètres statistiques de base du nombre moyen des talles, obtenus au stade tallage, sous l'effet des deux herbicides Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés Waha et HD.

Herbicide	Variétés	Dose	n	x	SD
Sekator	Waha	D0	10	3,9	1,45
		Ds	10	4,9	2,47
	HD	D0	10	3,9	0,99
		Ds	10	3,8	1,31
Zoom	Waha	D0	10	3,9	1,45
		Dz	10	5,4	2,50
	HD	D0	10	3,9	0,99
		Dz	10	4,3	2,36

D0: témoin

Ds: 150 ml/ha

Dz: 120 g/ha

Tableau 7. Analyse de la variance à un critère de classification appliquée dans la comparaison, entre le témoin et la dose au plein champ, du nombre moyen des talles, obtenus au stade tallage pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides Sekator et Zoom.

Herbicide	Variété	ddl	CM	F_{obs}	P
Sekator	Waha	1	5,00	1,22	0,284 NS
	HD	1	0,05	0,04	0,850 NS
Zoom	Waha	1	11,25	2,69	0,118 NS
	HD	1	0,80	0,24	0,627 NS

N.S. = pas de différences significative ($p > \alpha = 0,05$)

* = existe des différences significatives ($p \leq \alpha = 0,05$)

** = existe des différences hautement significatives ($p \leq \alpha = 0,01$)

*** = existe des différences très hautement significatives ($p \leq \alpha = 0,001$)

ddl = degré de liberté

CM = carré moyen

P = probabilité

Fobs = valeur observée de la variable F de FISHER

La représentation graphique des résultats statistiques obtenus dans le cas d'exposition des deux variétés Waha et HD aux herbicides Sekator et Zoom est illustrée sur la figure 11.

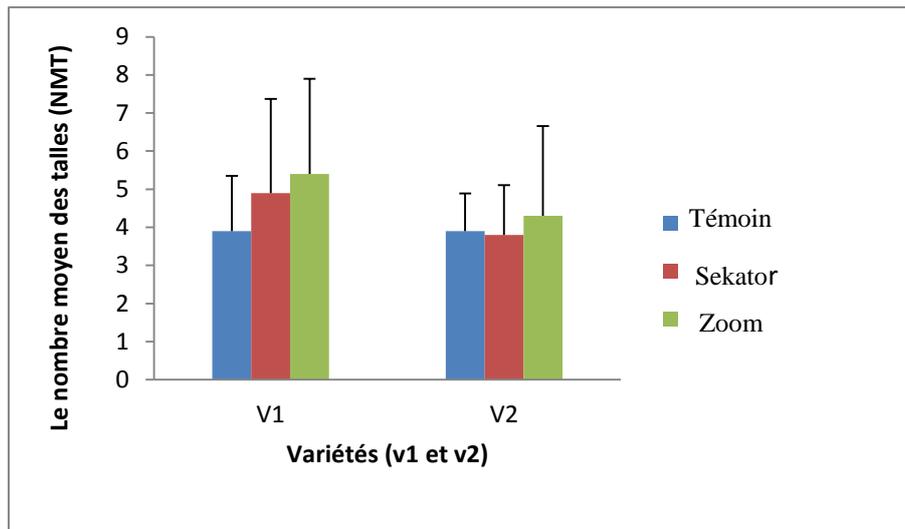


Figure 11. Effets de Sekator et Zoom sur le nombre moyen des talles de V1 : Waha et V2 : HD. ($m \pm SD$; $n = 10$).

Nombre des épis / m^2 (N.E/ m^2)

L'étude des paramètres statistiques de base calculés sur le nombre moyen des épis / m^2 montre que les moyennes (x) sont élevées pour la variété Waha et HD exposées à l'herbicide Sekator, par contre avec l'herbicide Zoom la moyenne (x) est plus élevée pour la variété Waha, alors qu'elle diminue pour la variété HD (Tableau 8). La comparaison, entre doses, des N.E/ m^2 , à l'aide de l'analyse de la variance, fait ressortir des différences non significatives pour les deux variétés exposées à l'herbicide Sekator, on distingue alors des différences significatives pour la variété Waha exposée à l'herbicide Zoom, aussi une diminution hautement significative pour la variété HD exposée à cet herbicide (Tableau 9).

Tableau 8. Paramètres statistiques de base du nombre moyen des épis /m², obtenus au stade montaison, sous l'effet des deux herbicides Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés Waha et HD.

Herbicides	Variétés	Dose	n	x	SD
Sekator	Waha	D0	3	465,00	18,03
		Ds	3	465,67	25,03
	HD	D0	3	464,67	14,50
		Ds	3	433,67	27,61
Zoom	Waha	D0	3	465,00	18,03
		Dz	3	500,00	13,23
	HD	D0	3	464,67	14,50
		Dz	3	380,00	19,08

Tableau 9. Analyse de la variance à un critère de classification appliquée dans la comparaison, entre le témoin et la dose au plein champ, du nombre moyen des épis /m², obtenus au stade montaison pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides Sekator et Zoom.

Herbicide	Variété	ddl	CM	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	1	0,00	0,972 NS
	HD	1	1442	2,96	0,160 NS
Zoom	Waha	1	1838	7,35	0,053*
	HD	1	10753	37,44	0,004**

La représentation graphique des résultats statistiques obtenus dans le cas d'exposition des deux variétés Waha et HD aux herbicides Sekator et Zoom est illustrée sur la figure 12.

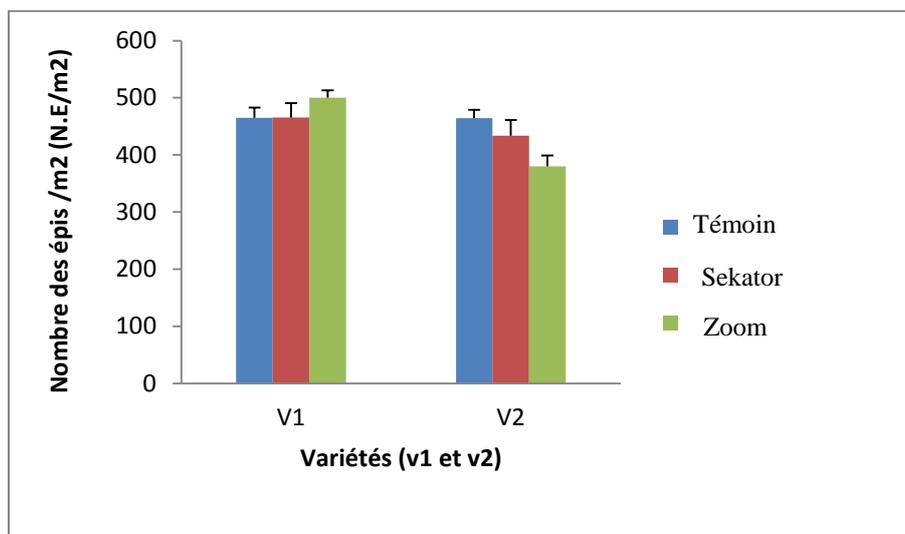


Figure 12. Effets de Sekator et Zoom sur le nombre moyen des épis /m² de V1 : Waha et V2 : HD. (m ± SD; n = 3).

Nombre moyen de grains/épi (NMG)

Les paramètres statistiques obtenus, à partir du nombre moyen de grains par épi (N.M.G) sont regroupés dans le tableau 10. A première vue, la moyenne (x) pour chaque traitement est plus élevée pour la variété Waha, alors qu'elle reste identique pour la variété HD. Le test d'analyse de la variance, n'indique pas de différences significatives entre doses pour les variétés HD exposée aux deux types d'herbicides, aussi la variété Waha exposée à l'herbicide Sekator, alors que pour la variété Waha exposée à l'herbicide Zoom, celle-ci représente des différences hautement significatives (Tableau 11).

Tableau 10. Paramètres statistiques de base du nombre moyen des grains/épi, obtenus au stade montaison, sous l'effet des deux herbicides Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés Waha et HD.

Herbicide	Variétés	Dose	n	x	SD
Sekator	Waha	D0	10	36,0	7,89
		Ds	10	42,7	7,73
	HD	D0	10	21,2	3,19
		Ds	10	21,2	3,42
Zoom	Waha	D0	10	36,0	7,89
		Dz	10	46,0	6,45
	HD	D0	10	21,2	3,19
		Dz	10	21,8	2,04

Tableau 11. Analyse de la variance à un critère de classification appliquée dans la comparaison, entre le témoin et la dose au plein champ, du nombre moyen de grains/épi, obtenus au stade montaison pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides Sekator et Zoom.

Herbicide	Variété	ddl	CM	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	224,5	3,68	0,071 NS
	HD	1	0	0,00	1,000 NS
Zoom	Waha	1	500	9,64	0,006**
	HD	1	1,8	0,25	0,623 NS

La représentation graphique des résultats statistiques obtenus dans le cas d'exposition des deux variétés Waha et HD aux herbicides Sekator et Zoom est illustrée sur la figure 13.

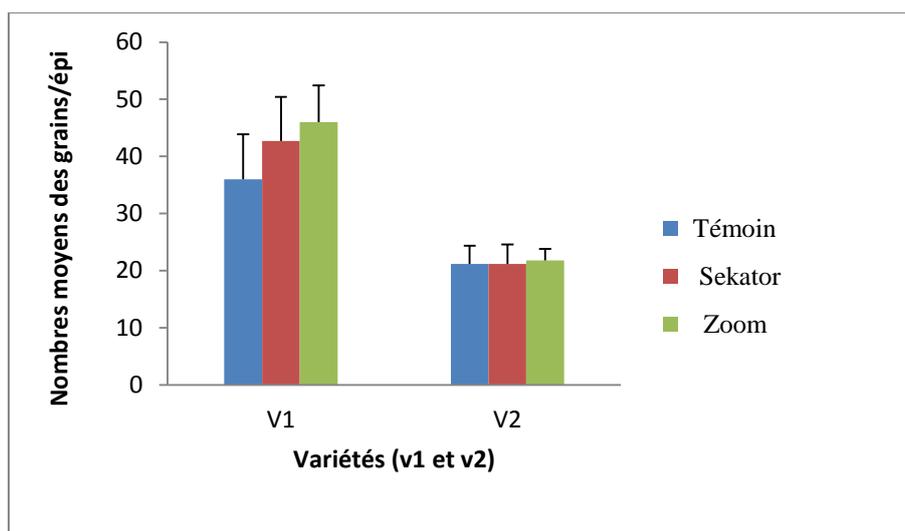


Figure 13. Effets de Sekator et Zoom sur le nombre moyen des grains/épi de V1 : Waha et V2 : HD. ($m \pm SD$; $n = 10$).

Poids moyen de grains (PMg)

Les paramètres statistiques calculés par dose et par variété de blé et par herbicide, sur le poids moyen des grains, sont représentés dans le tableau 12.

L'analyse des résultats du tableau en question, présente une diminution du poids moyen de grains, pour la variété HD, mais une augmentation du poids moyen de grains pour la variété Waha exposée à l'herbicide Zoom. La comparaison, entre doses, par l'analyse de la variance ne donne aucune différence significative pour la variété Waha mais une différence très hautement significative pour la variété HD, exposée à l'herbicide Sekator, alors qu'il existe des différences significatives pour la variété HD et très hautement significatives pour la variété Waha dans le cas de l'herbicide Zoom (Tableau 13).

Tableau 12. Paramètres statistiques de base du poids moyen de grains, obtenus au stade montaison, sous l'effet des deux herbicides Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés Waha et HD.

Herbicide	Variétés	Dose	n	x	SD
Sekator	Waha	D0	10	0,025	0,008
		Ds	10	0,030	0,006
	HD	D0	10	0,045	0,005
		Ds	10	0,028	0,005
Zoom	Waha	D0	10	0,025	0,008
		Dz	10	0,043	0,003
	HD	D0	10	0,045	0,005
		Dz	10	0,041	0,003

Tableau 13. Analyse de la variance à un critère de classification appliquée dans la comparaison, entre le témoin et la dose au plein champ, du poids moyen de grain, obtenus au stade montaison pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides Sekator et Zoom.

Herbicide	Variété	ddl	CM	F_{obs}	P
Sekator	Waha	1	0,0001512	3,19	0,091 NS
	HD	1	0,0014162	60,02	0,000***
Zoom	Waha	1	0,0015931	46,39	0,000***
	HD	1	0,0000808	4,86	0,041*

La représentation graphique des résultats statistiques obtenus dans le cas d'exposition des deux variétés Waha et HD, aux herbicides, est illustrée sur la figure 14.

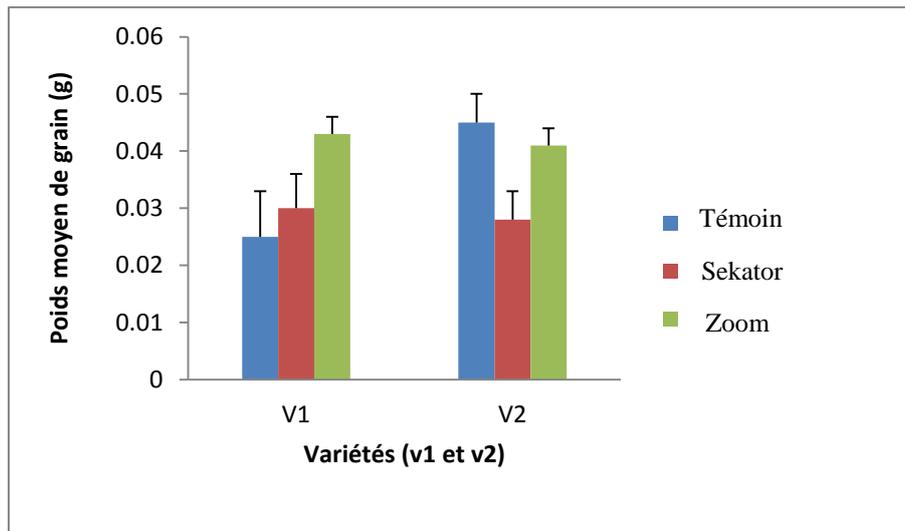


Figure 14. Effets de Sekator et Zoom sur le poids moyen de grains de V1 : Waha et V2 : HD. ($m \pm SD$; $n = 10$).

Estimation du rendement (RDT)

Le rendement en grains c'est le produit de trois composantes : le nombre d'épis par m^2 , le nombre de grains par épi et le poids de milles grains.

L'analyse des moyennes des deux variétés du blé, témoin et traitées (tableau 14) indique que le rendement en grains, varie de 28,91 qx/ha, moyenne de HS à 89,09 qx/ha, moyenne de WZ. Les valeurs moyennes extrêmes sont mesurées chez WZ et WT pour le poids moyen des 1000 grains avec des valeurs respectives de 39, 004 et 27, 411 g. Celles du nombre de gains par épi, sont mesurées chez WZ et HS et HT avec des valeurs moyennes de 46,0 et 21,2 grains par épi. Le nombre d'épis produit par m^2 varie de 380 épis, valeur mesurée chez HZ à 500 épis pour WZ. L'analyse, des relations du rendement avec les composantes (Annexe 2), montre que seul le nombre de grains par épi a eu un effet déterminant sur le rendement en grains ($p= 0,01$). Ceci indique que les différences du nombre d'épis et du poids moyen de grains n'étaient pas assez suffisantes, pour pouvoir discriminer, entre les différents génotypes évalués, comparativement au nombre de grains par épi.

Tableau 14. Estimation du rendement des deux variétés du blé témoins et traitées.

Variétés	Epis/m ²	Grains/épi	P.M.G	Rendement (qx/ha)
WT	465,00	36,0	27,411	45,886
WS	465,67	42,7	30,011	59,674
WZ	500,00	46,0	39,004	89,092
HT	464,67	21,2	35,610	35,079
HS	433,67	21,2	31,455	28,919
HZ	380,00	21,8	36,058	29,870

2. Caractères d'adaptation

Le rendement biologique (rendement effectif au niveau de la parcelle) peut être exprimé en première analyse sous la forme d'une fonction d'adaptation du génotype à son milieu, cette fonction étant caractérisée par des variables, liées aux contraintes de l'environnement, et des paramètres d'adaptation liés au génotype, tels que les paramètres phénologiques d'adaptation et les paramètres morpho- physiologiques d'adaptation (Monneveux, 1991).

Hauteur moyenne du plant (HMP)

L'analyse des paramètres statistiques élémentaires calculés sur la hauteur moyenne du plant (Tableau 15) montre, une fois encore, que les moyennes augmentent et les écarts types diminuent et ceci pour les deux variétés de blé et avec les deux type d'herbicides.

Les valeurs de la probabilité P, relatives à l'analyse de la variance (Tableau 16) montrent clairement, qu'il n'existe pas des différences significatives, entre doses pour la hauteur moyenne du plant et ceci pour les variétés Waha et HD exposées à l'herbicide Sekator et HD exposée à l'herbicide Zoom. Par contre, la variété Waha de *T. durum* présente une différence significative avec ce dernier herbicide.

Tableau 15. Paramètres statistiques de base de la hauteur moyenne des plants, obtenus au stade montaison, sous l'effet des deux herbicides Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés: Waha et HD.

Herbicide	Variétés	Dose	n	x	SD
Sekator	Waha	D0	10	67,37	14,14
		Ds	10	70,79	12,83
	HD	D0	10	62,86	09,61
		Ds	10	63,62	08,98
Zoom	Waha	D0	10	67,37	14,14
		Dz	10	77,72	06,07
	HD	D0	10	62,86	09,61
		Dz	10	66,02	10,13

Tableau 16. Analyse de la variance à un critère de classification, appliquée dans la comparaison, entre le témoin et la dose au plein champ, de la hauteur moyenne des plants, obtenus au stade montaison pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides: Sekator et Zoom.

Herbicide	Variété	ddl	CM	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	5,8	0,32	0,578 NS
	HD	1	2,9	0,03	0,857 NS
Zoom	Waha	1	536	4,53	0,047*
	HD	1	49,9	0,51	0,484 NS

La représentation graphique des résultats statistiques obtenus dans le cas d'exposition des deux variétés Waha et HD aux herbicides Sekator et Zoom est illustrée sur la figure 15.

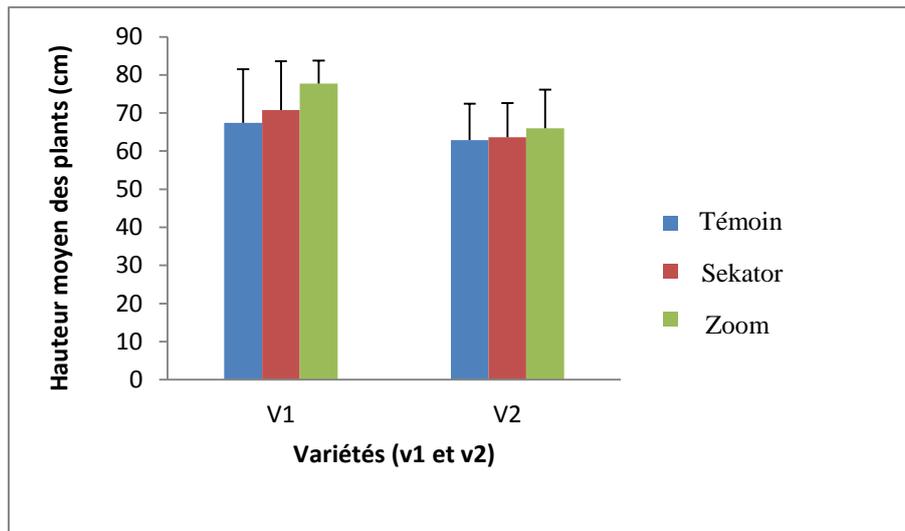


Figure 15. Effets de Sekator et Zoom sur la hauteur moyenne du plant de V1 : Waha et V2 : HD. ($m \pm SD$; $n = 10$).

Nombre moyen des nœuds (NMN)

L'analyse des paramètres statistiques élémentaires (Tableau 17) calculés sur le nombre des nœuds, montre une fois encore, que les moyennes et la dispersion mesurée par l'écart type (SD), quant à elle, est pratiquement identique, pour les deux variétés de blé dur et blé tendre exposé à l'herbicide Sekator ou Zoom.

L'étude des résultats de l'analyse de la variance (Tableau 18) dans la comparaison, entre doses, du nombre moyen des nœuds (NMN) donne des différences non significatives et ceci pour les deux variétés de blé exposées aux deux herbicides.

Tableau 17. Paramètres statistiques de base du nombre moyen des nœuds, obtenus au stade montaison, sous l'effet des deux herbicides Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés Waha et HD.

Herbicide	Variétés	Dose	n	x	SD
Sekator	Waha	D0	10	3,9	0,876
		Ds	10	3,8	0,789
	HD	D0	10	4,0	0,816
		Ds	10	3,7	0,483
Zoom	Waha	D0	10	3,9	0,876
		Dz	10	4,3	0,675
	HD	D0	10	4,0	0,816
		Dz	10	4,0	0,816

Tableau 18. Analyse de la variance à un critère de classification appliquée dans la comparaison, entre le témoin et la dose au plein champ, du nombre moyen des nœuds, obtenus au stade montaison pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides Sekator et Zoom.

Herbicide	Variété	ddl	CM	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	0,05	0,07	0,791 NS
	HD	1	0,45	1,00	0,331 NS
Zoom	Waha	1	0,80	1,31	0,268 NS
	HD	1	0,00	0,00	1,000 NS

La représentation graphique des résultats statistiques obtenus dans le cas d'exposition des deux variétés Waha et HD aux herbicides Sekator et Zoom est illustrée sur la figure 16.

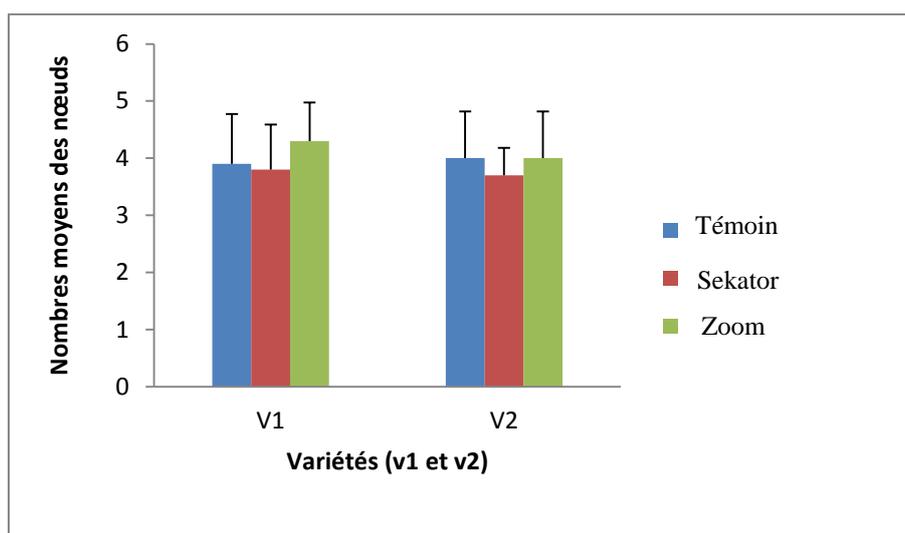


Figure 16. Effets de Sekator et Zoom sur le nombre moyen des nœuds de V1 : Waha et V2 : HD. ($m \pm SD$; $n = 10$).

Surface foliaire (SF)

Les paramètres statistiques calculés par dose, par variété de blé et par herbicide, figurent dans le tableau 19. Les moyennes (\bar{x}) de la variété Waha, sont légèrement plus élevées que celles de la variété HD et ceci pour les deux herbicides. La dispersion des données (SD) est pratiquement la même pour les deux variétés de blé et pour les deux herbicides. Le tableau 20 relatif aux résultats de l'analyse de la variance pour comparer les surfaces moyennes, entre dose, pour chaque variété de blé et pour chaque herbicide indique, chaque fois, des différences non significatives sauf pour la variété Waha exposé à l'herbicide Zoom ou l'on observe une augmentation très hautement significative.

Tableau 19. Paramètres statistiques de base de la surface foliaire (SF), sous l'effet des deux herbicides: Sekator et Zoom appliqués aux deux variétés Waha et HD.

Herbicide	Variétés	Dose	n	x	SD
Sekator	Waha	D0	10	11,90	3,25
		Ds	10	11,57	3,02
	HD	D0	10	08,21	2,61
		Ds	10	06,77	2,16
Zoom	Waha	D0	10	11,90	3,25
		Dz	10	18,88	4,23
	HD	D0	10	08,21	2,61
		Dz	10	08,89	1,57

Tableau 20. Analyse de la variance à un critère de classification appliquée dans la comparaison de la surface foliaire, entre le témoin et la dose au plein champ, pour les variétés Waha et HD soumises aux herbicides Sekator et Zoom.

Herbicide	Variété	ddl	CM	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	0,54	0,06	0,817 NS
	HD	1	10,37	1,80	0,196 NS
Zoom	Waha	1	243,6	17,14	0,001***
	HD	1	2,31	0,50	0,489 NS

La représentation graphique des résultats statistiques obtenus dans le cas d'exposition des deux variétés Waha et HD aux herbicides Sekator et Zoom est illustrée sur la figure 17.

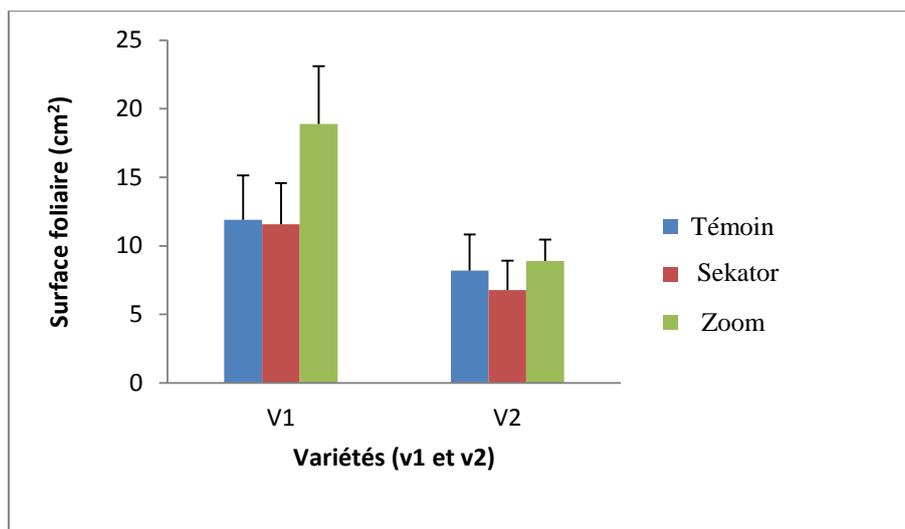


Figure 17. Effets de Sekator et Zoom sur la surface foliaire (SF) de V1 : Waha et V2 : HD. ($m \pm SD$; $n = 10$).

3. Discussion

Le tallage est un caractère variétal, qui en conditions favorables, pourrait renseigner sur le potentiel des variétés (Bennaceur *et al.*, 1997). Grandcourt et Prats (1971) ont constaté que ce paramètre peut être considéré comme une composante qui affecte indirectement le rendement. Benbelkacem *et al.*, (1984) ont constaté qu'une augmentation importante du nombre de talles herbacées, engendre une augmentation du nombre de talles épis, mais aussi une mortalité élevée.

Le nombre d'épis par plant est surtout lié au nombre de talles par plante (Shanahan *et al.*, 1985). Erroux (1974) indique que la pénurie d'eau et d'éléments nutritifs, entraîne un avortement des épillets de la base et du sommet de l'épi. Selon Fonesco et Patterson (1968), la stérilité des épillets terminaux dépend du peuplement pieds et du coefficient de tallage, elle est fortement influencée par la densité du semis, le pourcentage de la levée et les caractéristiques variétales. Del Moral (1993) a constaté que le nombre d'épis par m^2 dépend aussi bien de la capacité du génotype à produire des talles, que de la proportion de ces dernières, pouvant survivre et donner des épis fertiles. Les deux processus dépendent de la disponibilité en assimilats, de l'alimentation hydrique et de l'application de la fertilisation azotée.

Maurer (1978) a constaté que le nombre de grains par épi est mis en place au moment de l'induction florale, dès la fin du tallage. Ainsi, il est sensible à toute variation climatique et à toute déficience de fourniture en assimilats comme le soulignent **Triboi et al., (1985)**. Il dépend aussi bien de la fertilité de l'épi de chaque génotype.

La composante la plus déterminante dans le schéma de l'élaboration du rendement, est le nombre de grains par épi. Ces résultats corroborent ceux de **Blum et Pnuel (1990)** et **Erchidi et al., (2000)** qui mentionnent que le rendement en grains du blé est plus lié à la fertilité de l'épi qu'au poids moyen du grain. Ceci ne veut nullement dire que le nombre d'épis et le poids de 1000 grains ne jouent aucun rôle sous climat variable. La contribution indirecte de ses deux composantes, au rendement en grains, est plus importante via le nombre de grains par épi que leur contribution directe.

La variation entre les différents génotypes testés concernant la contribution des réserves glucidiques transférées vers le grain est à attribuer selon **Ehdaie et al., (2006)** à l'état de fonctionnement des vaisseaux conducteurs, à la capacité du génotype à utiliser les réserves pour le remplissage du grain et à l'écart du poids du grain de son potentiel.

Une hauteur de paille importante est une caractéristique désirable, en zone semi-aride, suite à ses effets bénéfiques lors des années sèches. Ces effets sont attribués à la capacité de stockage et de transfert des substrats glucidiques pour la finition du grain (**Bahlouli et al., 2005 ; Annichiarico et al., 2005**). Cette contribution de la hauteur du chaume avec les substrats stockés au niveau surtout du dernier entre nœud et du col de l'épi, minimise la baisse du rendement en grain sous stress (**Blum, 1988**).

Siddique et al., (1989) font remarquer que la corrélation négative, entre l'efficacité d'utilisation de l'eau et la hauteur de plante, est due au fait que les variétés naines valorisent mieux l'humidité du sol. En plus la hauteur du chaume est associée à un système racinaire capable d'aller en profondeur, suggérant l'adoption des variétés hautes dans les environnements à faible pluviométrie et dans des sols où il y a une humidité résiduelle exploitable en profondeur.

Une paille relativement haute devient une caractéristique désirable sous stress. **Elis et Brown (1986)** trouvent que les variétés à paille longue deviennent plus productives dans les zones affectées par la sécheresse, comparativement aux variétés naines.

En conditions de stress, une paille haute est plus apte à stocker plus de réserves glucidiques, qui sont susceptibles d'être transférées vers le grain, au cours de la phase de remplissage. Selon **Clarke et al., (1991)**, une biomasse élevée est une caractéristique désirable en milieux semi-arides. Alors que la liaison entre le poids des épis et la hauteur du

chaume suggère que pour avoir un poids des épis élevé, il faut consentir une importante réduction de la hauteur du chaume (**Saraoui, 2011**).

Dans certains travaux, il apparaît que la hauteur de la plante et le rendement sont corrélés de façon positive. Cependant, d'autres études réalisés par **Bouzerzour et Hafsi, (1993)** ; **Meziani et al., (1993)** ; **Hamada (2002)** ont montré que les variétés à paille courte produisent mieux que celles à paille haute en zones semi-arides. **Bahlouli et al., (2006)** en étudiant cinq variétés de blé dur sous climat méditerranéen et ont mis en évidence l'importance de la paille dans le remplissage des grains. Ils ont ainsi déduit que la participation des assimilats des tiges au remplissage des grains est relativement plus importante, à mesure que le milieu devient contraignant.

La surface foliaire détermine progressivement à la fois, les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique. Elle conditionne la résistance à la sécheresse, vu qu'une surface foliaire élevée perdra plus d'eau qu'une faible surface foliaire. En milieux variables, la diminution de la surface foliaire peut avoir des effets bénéfiques, en réduisant de la surface évaporante et celle soumise à la radiation solaire (**Belkharchouche et al., 2009**). En effet, selon **Abbassenne (1997)**, une variété avec une faible surface foliaire est capable de faire un bon rendement, grâce à une meilleure efficacité d'utilisation de l'énergie lumineuse, par unité de surface foliaire. Cette diminution de la surface foliaire, est compensée par une durée de vie du feuillage plus longue. Un poids spécifique foliaire élevé est un indicateur d'une meilleure capacité photosynthétique, d'une moindre sensibilité à la photo- inhibition et de la consistance de l'appareil photosynthétique (**Araus et al., 1998**). Cependant **Johnson et al., (1983)** suggèrent que les plantes à surface foliaire plus grande sont tolérantes à la déshydratation en maintenant un potentiel hydrique élevé.

La diminution de la productivité des plantes en déficit hydrique est due au fait que ces dernières, en réduisant leur croissance, diminuent leurs surfaces foliaires, ce qui a pour conséquence une diminution de la capacité photosynthétique de la plante entière (**Steduto et al., 2000**). D'après nos résultats sur le rendement, la variété de blé dur exposée à l'herbicide Zoom est plus productive par rapport aux variétés exposées à l'herbicide Sekator. Ceci est en accord avec les travaux de **Baldy (1973)** qui montre que dans les conditions du milieu non limitantes, les génotypes à feuilles étendards relativement grandes ont toujours un rendement en grains supérieur. Par contre, **Gate (1995)** montre que dans les situations d'alimentation hydrique limitée ce paramètre peut être utilisé comme un indice de sélection, pour obtenir un rendement élevé, parce que les génotypes à petite surface foliaire, tolèrent mieux le déficit

hydrique par rapport aux variétés à grande surface foliaire. Cette différence est marquée, parce que les essais sont menés en plein champ dans des conditions climatiques naturelles de pluviométrie et de température, et ne peuvent faire l'objet de comparaison.

En 2004, une attaque sévère de rouille sur le blé tendre, a causé des pertes élevées allant parfois jusqu'à 100 % dans les régions du centre et de l'Est de l'Algérie (**Boulal et al., 2007**). Après cette catastrophe, les agriculteurs négligent la culture de la variété Hiddab (H.D.1220) de blé tendre, remplacée par la variété Arz qui est plus résistante aux froid, verse, sécheresse et à la rouille jaune, surtout dans la région de Constantine (**Kellil, 2010**). La variété Waha est celle qui possède une grande productivité, à «adaptation large », caractérisée par des rendements supérieurs à la moyenne dans tous les milieux, et par une très bonne réponse à l'optimisation des conditions environnementales (**Meziani et al., 1992**).

B. Effets des herbicides sur les paramètres physiologiques et biochimiques

1. les chlorophylles *a*, *b* et *a+b*.

Traitement par l'herbicide Sekator

Pour chacune des trois types de chlorophylles, les paramètres statistiques obtenus sont représentés au tableau 21. Ils sont calculés par dose et par type de variété de blé.

Les valeurs de la probabilité P du test d'analyse de la variance du tableau 22, montre l'existence des différences hautement à très hautement significatives, entre doses, pour la variété HD de blé tendre et pour chaque type de chlorophylle *b* et (*a+b*).

Tableau 21. Paramètres statistiques calculés sur la chl *a*, la chl *b* et la chl (*a+b*) pour les variétés de *Triticum*, et pour les différentes doses (témoin et plein champ) de l'herbicide Sekator.

Type de chlorophylle	Variétés	Doses	n	x	SD
Ch <i>a</i>	Waha	D0	3	581,75	12,5
		Ds	3	577,50	72,25
	HD	D0	3	616,75	7,75
		Ds	3	502,75	128,75
Ch <i>b</i>	Waha	D0	3	1008,0	116,25
		Ds	3	828,50	236,25
	HD	D0	3	735,75	119,75
		Ds	3	287,00	110,50
Ch (<i>a+b</i>)	Waha	D0	3	1589,75	103,75
		Ds	3	1406,00	164,75
	HD	D0	3	1352,5	112,75
		Ds	3	789,75	239,50

n = effectif de l'échantillon

x = moyenne arithmétique de l'échantillon

SD = écart type de l'échantillon

Tableau 22. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison, entre doses de l'herbicide Sekator, pour chacune des deux variétés de *Triticum*, de la chl *a*, de la chl *b* et de la chl (*a+b*), obtenus au cours des trois essais réalisés.

Types de chlorophylle	Variétés	Paramètres statistiques			
		ddl	CM	F _{obs}	P
Chl <i>a</i>	Waha	1	26	0,01	0,926 NS
	HD	1	19437	2,34	0,201 NS
Chl <i>b</i>	Waha	1	48241	1,39	0,304 NS
	HD	1	302065	22,71	0,009**
Chl (<i>a+b</i>)	Waha	1	50554	2,67	0,178 NS
	HD	1	475031	13,56	0,021*

La représentation graphique des résultats statistiques obtenus, dans le cas d'exposition des deux variétés Waha et HD aux herbicides Sekator et Zoom est illustrée sur les figures 18, 19 et 20.

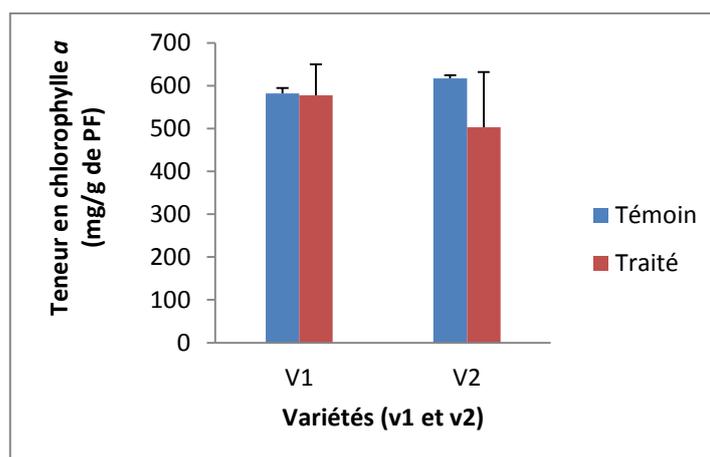


Figure 18. Effets d'herbicide Sekator sur la teneur en chlorophylle *a* (mg/g de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement. ($m \pm SD$; $n = 3$).

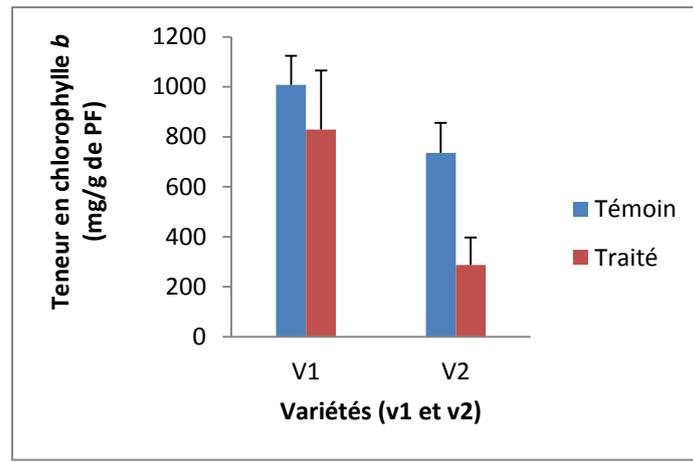


Figure 19. Effets d’herbicide Sekator sur la teneur en chlorophylle *b* (mg/g de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement. ($m \pm SD$; $n = 3$).

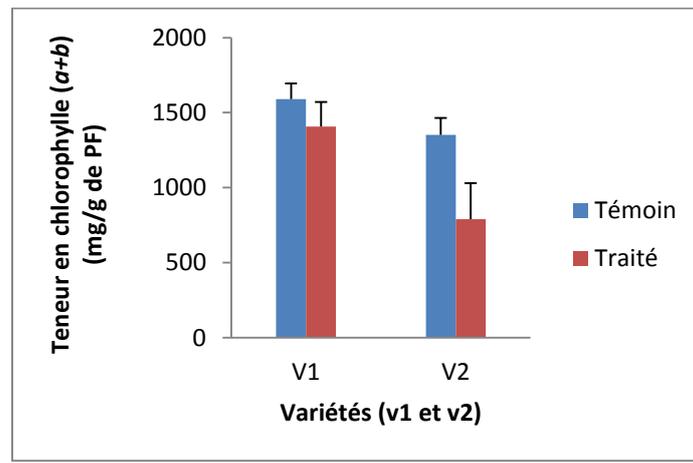


Figure 20. Effets d’herbicide Sekator sur la teneur en chlorophylle (*a+b*) (mg/g de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement ($m \pm SD$; $n = 3$).

Traitement par l'herbicide Zoom

Le tableau 23, donne les paramètres statistiques obtenus pour les chl *a*, chl *b* et chl (*a* +*b*) pour chaque dose (témoin et la dose au plein champ de l'herbicide Zoom) et pour chaque variété de *Triticum*. La comparaison des moyennes de chacune des trois chlorophylles, entre doses, et pour chacune des deux variétés de blé à l'aide de l'analyse de la variance, révèle qu'il existe des différences hautement significatives en ch *a* pour la variété Waha seulement et des différences en ch *b* et (*a*+*b*) hautement à très hautement significatives uniquement pour la variété HD (Tableau 24).

Tableau 23. Paramètres statiques calculés sur la chl *a*, la chl *b* et la chl (*a*+*b*) pour la variété de *Triticum*, et pour les différentes doses (témoin et plein champ) de l'herbicide Zoom.

Type de chlorophylle	Variétés	Doses	n	x	SD
Ch a	Waha	D0	3	581,75	12,50
		Dz	3	627,50	09,75
	HD	D0	3	616,75	07,75
		Dz	3	514,00	82,75
Ch b	Waha	D0	3	1008,0	116,25
		Dz	3	877,00	121,25
	HD	D0	3	735,75	119,75
		Dz	3	330,50	92,75
Ch (a+b)	Waha	D0	3	1589,75	103,75
		Dz	3	1504,75	111,75
	HD	D0	3	1352,5	112,75
		Dz	3	844,50	175,50

Tableau 24. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison, entre doses de l'herbicide Zoom, pour chacune des deux variétés de *Triticum*, de la chl *a*, de la chl *b* et de la chl (*a+b*), obtenus au cours des trois essais réalisés.

Types de chlorophylle	Variétés	Paramètres statistiques			
		ddl	CM	F _{obs}	P
Chl <i>a</i>	Waha	1	3151	25,19	0,007**
	HD	1	15813	4,56	0,099 NS
Chl <i>b</i>	Waha	1	25555	1,80	0,251 NS
	HD	1	246341	21,47	0,010**
Chl (<i>a+b</i>)	Waha	1	10795	0,93	0,390 NS
	HD	1	387223	17,79	0,014*

La représentation graphique des résultats statistiques obtenus dans le cas d'exposition des deux variétés Waha et HD aux herbicides Sekator et Zoom est illustrée sur les figures 21, 22 et 23.

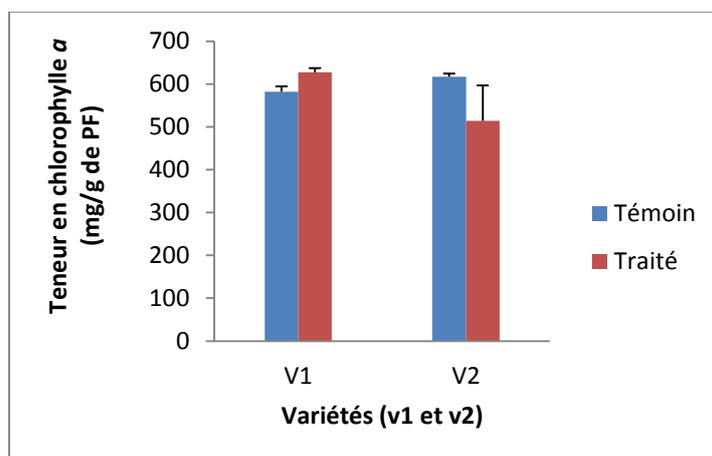


Figure 21. Effets d'herbicide Zoom sur la teneur en chlorophylle *a* (mg/g de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement. ($m \pm SD$; $n = 3$).

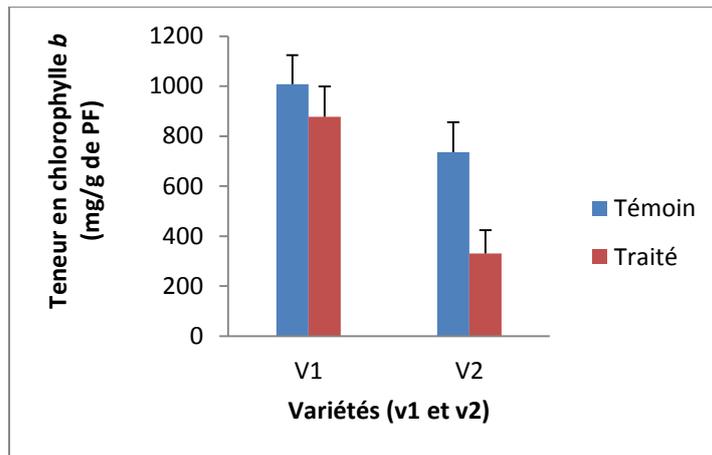


Figure 22. Effets d'herbicide Zoom sur la teneur en chlorophylle *b* (mg/g de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement. ($m \pm SD$; $n = 3$).

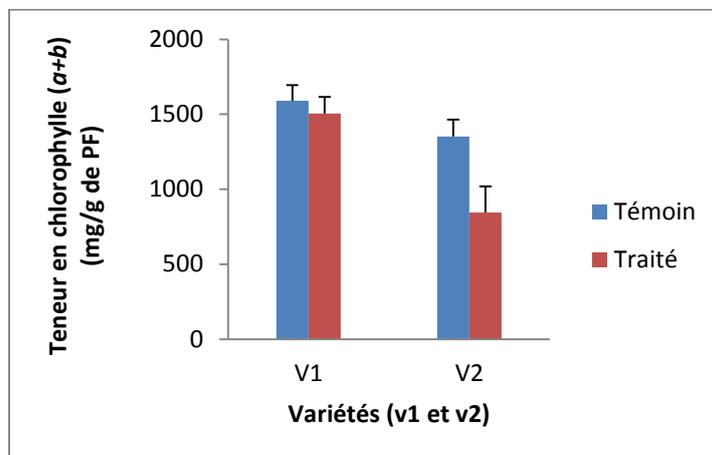


Figure 23. Effets d'herbicide Zoom sur la teneur en chlorophylle (*a+b*) (mg/g de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement ($m \pm SD$; $n=3$).

2. Les protéines.

Le tableau 25, donne les valeurs des paramètres statistiques calculés sur les protéines, pour chaque dose (témoin et la dose au plein champ des herbicides étudiés), par variété de blé dur et blé tendre. Les résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre doses, des moyennes des teneurs en protéines, indiquent tous des différences non significatives entre doses pour chacune des deux variétés de blé et pour chacun des deux herbicides, sauf pour la variété HD exposée à l'herbicide Zoom où l'on peut remarquer une différence hautement significative (Tableau 26).

Tableau 25. Paramètres statistiques de base calculés sur les protéines ($\mu\text{g} / \text{g}$ de PF) par dose, par herbicide et par variété de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Doses	x	SD
Sekator	Waha	D0	14,47	3,91
		Ds	11,89	3,41
	HD	D0	13,27	0,66
		Ds	14,92	1,31
Zoom	Waha	D0	14,47	3,91
		Dz	14,34	0,77
	HD	D0	13,27	0,66
		Dz	10,45	0,77

Tableau 26. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, des protéines obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Paramètres statistiques			
		ddl	CM	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	10,00	0,74	0,438 NS
	HD	1	04,05	3,77	0,124 NS
Zoom	Waha	1	00,02	0,00	0,960 NS
	HD	1	11,98	23,45	0,008**

La représentation graphique des résultats statistiques obtenus dans le cas d'exposition des deux variétés Waha et HD aux herbicides Sekator et Zoom est illustrée sur la figure 24.

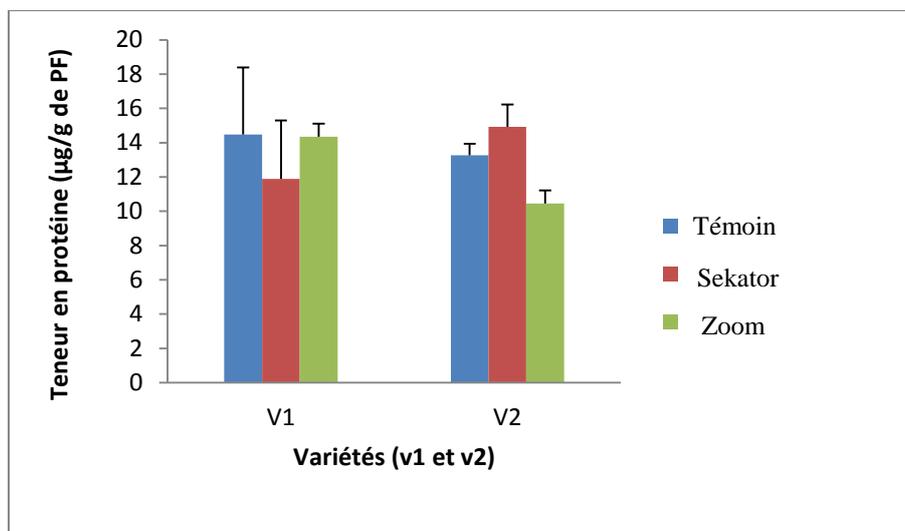


Figure 24. Effets de l'herbicide Sekator et Zoom sur la teneur en protéines (µg/g de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement ($m \pm SD$; $n= 3$).

3. La proline.

Les paramètres statistiques calculés sur la teneur en proline pour chaque dose (témoin et dose au plein champ) et par variétés de blé, figurent dans le tableau 27.

La comparaisons de moyennes effectuées par l'analyse de la variance, entre doses de chacun des deux herbicides, et pour chaque variété de blé, montrent des différences significatives entre doses, sauf pour la variété HD exposée à l'herbicide Zoom et des différences non significatives pour la variété Waha, aussi la variété HD désherbé par l'herbicide Sekator (Tableau 28).

Tableau 27. Paramètres statistiques de base calculés sur la proline, par dose, par herbicide et par variété de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Doses	x	SD
Sekator	Waha	D0	0,61	0,26
		Ds	0,72	0,07
	HD	D0	0,25	0,13
		Ds	0,20	0,10
Zoom	Waha	D0	0,61	0,26
		Dz	0,63	0,03
	HD	D0	0,25	0,13
		Dz	0,58	0,07

Tableau 28. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, des prolines obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Paramètres statistiques			
		ddl	CM	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	0,0204	0,54	0,504 NS
	HD	1	0,0048	0,33	0,596 NS
Zoom	Waha	1	0,0006	0,02	0,903 NS
	HD	1	0,1634	13,69	0,021 *

La représentation graphique des résultats statistiques obtenus dans le cas d'exposition des deux variétés Waha et HD aux herbicides Sekator et Zoom est illustrée sur la figure 25.

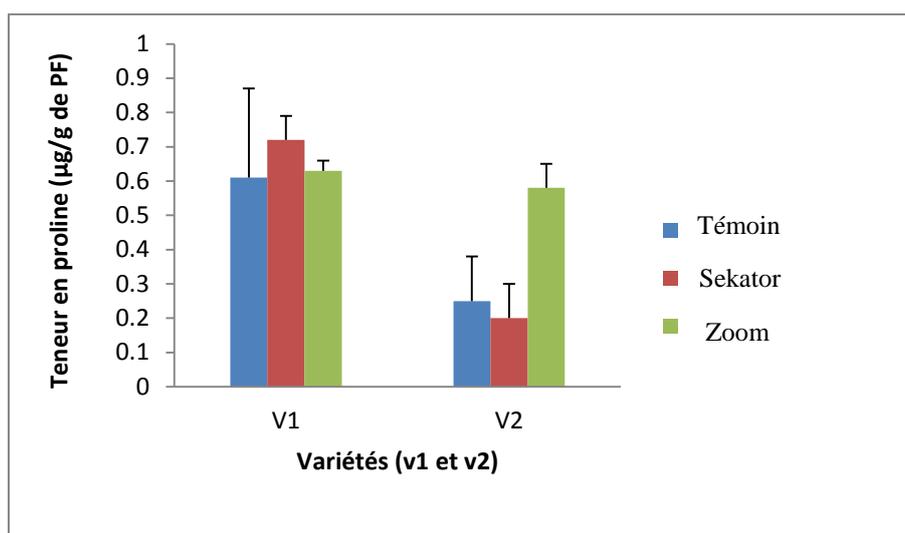


Figure 25. Effets de l’herbicide Sekator et Zoom sur la teneur en proline ($\mu\text{g/g}$ de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement ($m \pm SD$; $n= 3$).

4. Les sucres.

Le tableau 29, présente les paramètres statistiques calculés sur les sucres pour chaque dose (témoin et dose au plein champ) et par variété de blé.

Le test d’analyse de la variance, utilisé pour comparer entre doses, les moyennes pour chacune des deux variétés de blé et pour chaque herbicide, fait apparaître des différences non significatives pour toutes les comparaisons effectuées, sauf pour la variété HD exposée à l’herbicide Sekator, par contre nous observons une différence significative, concernant le traitement Zoom (Tableau 30).

Tableau 29. Paramètres statistiques de base des sucres ($\mu\text{g/g}$ de PF) par dose, par herbicide et par variété de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Doses	x	SD
Sekator	Waha	D0	5,59	2,36
		Ds	8,97	1,89
	HD	D0	2,78	0,17
		Ds	1,79	0,48
Zoom	Waha	D0	5,59	2,36
		Dz	7,26	0,44
	HD	D0	2,78	0,17
		Dz	1,26	0,71

Tableau 30. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, des sucres obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Paramètres statistiques			
		ddl	CM	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	17,20	03,75	0,125 NS
	HD	1	01,48	11,05	0,029*
Zoom	Waha	1	04,20	01,45	0,295 NS
	HD	1	03,49	12,88	0,023*

La représentation graphique des résultats statistiques obtenus dans le cas d'exposition des deux variétés Waha et HD aux herbicides Sekator et Zoom est illustrée sur la figure 26.

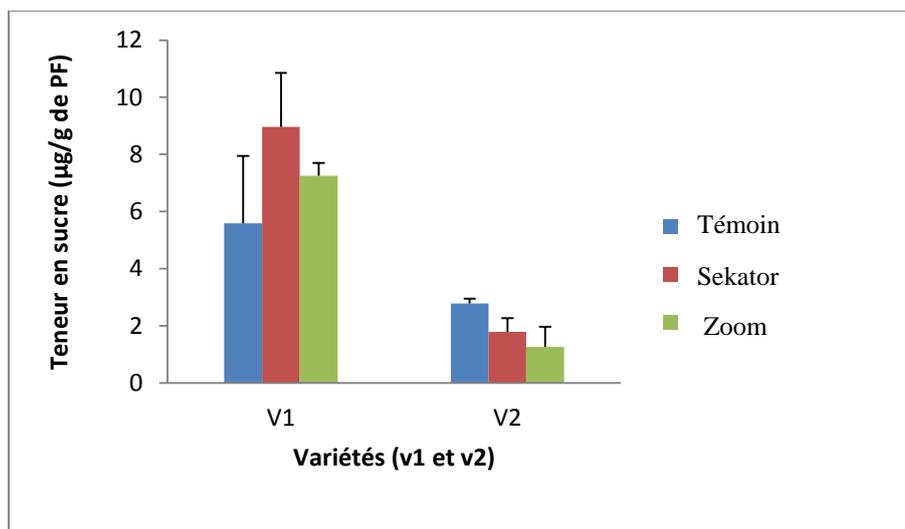


Figure 26. Effets de l’herbicide Sekator et Zoom sur la teneur en sucres totaux ($\mu\text{g/g}$ de PF) des deux variétés de blé Waha (V1) et HD (V2) après 8 jours de traitement ($m \pm SD$; $n = 3$).

5. Discussion

L’objectif de cette étude de plein champ, est de suivre les modifications des différents métabolites (chlorophylles a , b et $a + b$, protéines totales et proline) chez deux variétés de blé : Waha et HD, soumises à un traitement herbicide (Sekator et Zoom) afin de lutter contre les mauvaises herbes.

Nous avons procédé au dosage des teneurs moyennes en chl a et chl b , et chlorophylle totale ($a+b$) paramètres susceptibles de nous indiquer un éventuel stress, car considérées comme bio marqueur de la toxicité des végétaux, puisque des corrélations entre les densités cellulaires et les paramètres de la fluorescence photosynthétiques, ont prouvé que ces dernières pouvaient être considérées comme bio marqueurs de la toxicité dans le cadre de la pollution environnementale (**Dewez Dandal, 2007**). Les résultats obtenus montrent une diminution du taux de chlorophylle (b et $a + b$) par rapport au témoin, chez la variété HD exposée aux deux herbicides et une stimulation du taux de chlorophylle a chez la variété Waha exposée à l’herbicide Zoom.

Chez les plantes et les algues vertes, les herbicides (atrazine par exemple) peuvent induire une inhibition de la synthèse de la chlorophylle par l’inhibition de l’activité de l’enzyme protochlorophyllide réductase (**Mysliwa-Kurziel et Strzalka, 2005**).

La plupart des herbicides induisent une inhibition de l'activité du PSII mais leurs effets sur les polypeptides DI semblent être variables. Les herbicides de type phénoliques peuvent inhiber le transport d'électrons du PSII, en se liant au site quinone B (Q_B) de la protéine DI, accélérant ainsi la photoinhibition du PSII et la dégradation de la protéine DI via la formation d'espèces réactives de l'oxygène (l'oxygène singulet ¹O₂ en particulier (Nakajima et al., 1996; Fufezan et al., 2002). Les herbicides de type urée/triazine (DCMU et atrazine, par exemple) vont bloquer l'oxydation de Q_A' en se liant au site Q_B, empêchant son association avec la plastoquinone (Krieger-Liszkay et Rutherford, 1998; Ikeda et al., 2003), induisant une inhibition du transport d'électrons entre les PSII et PSI. Cependant, ces herbicides induisent peu d'effets sur la protéine DI et la photoinhibition du PSII, comparativement aux herbicides de type phénoliques (Nakajima et al., 1996). Ce ralentissement de la photoinhibition du PSII par les herbicides urée/triazine est supposé être associé à un retardement de la formation de Q_A à l'état réduit, et à une faible production de l'oxygène singulet (Kirilovsky et al., 1994; Fufezan et al., 2002).

Nos résultats semblent concorder avec ceux de Puritch et Barker (1967) qui mettent en évidence, un effet toxique de l'ammonium sur la synthèse des chlorophylles de même qu'une perturbation de l'aspect morphologique externe et interne, des chloroplastes des feuilles de *lycopersicum esculentum* qui apparaissent, suite au traitement à l'ammonium. D'autres travaux, (Havaux, 1988; Djekoun et Ykhlef, 1996) montrent une réduction de la photosynthèse, vis-à-vis de la sécheresse. Cette réduction de la photosynthèse est liée, d'une part à la fermeture des stomates (Johnson et al., 1984) et d'autre part, à la réduction de l'activité photochimique du PSII (effets « non stomatiques ») (Farquhar et Sarhey, 1982).

Tahri et al., (1997) enregistrent une diminution des teneurs en pigments chlorophylliens totaux (chl *a* et *b*) suite à un stress osmotique chez deux variétés de blé dur. Hedegús et al., (2001), Wang et Zhou (2005), montrent que le chlorimuron éthyl dans le sol provoque une réduction des pigments chlorophylliens. Ces résultats sont similaires à d'autres résultats obtenus par des chercheurs, ayant travaillé sur les métaux lourds. L'acide abscisique appliqué sur le blé dur, tend également à réduire la photosynthèse, ce qui contribue à réduire le rendement. La diminution de la surface transpirante, se traduit par une réduction de la surface photosynthétique. Les travaux de Bensoltane et al., (2006), montrent que le traitement par NH₄NO₃ affecte négativement beaucoup plus le métabolisme respiratoire que la photosynthèse des mousses et des lichens.

L'augmentation du taux de chlorophylle *a* chez la variété Waha exposée à l'herbicide Zoom a été aussi observé avec l'herbicide « atrazine ». L'atrazine stimule la croissance et le

contenu en chlorophylle *a* d'une algue verte (*Chlamydomonas*) et d'une diatomée (*Synedra aeus*). La stimulation de croissance observée lors de l'exposition à de faibles concentrations de toxiques pourrait être le résultat d'une adaptation des pigments photosynthétiques (Hatfield et al., 1989 ; Gustavson et Wangberg, 1995).

Rioboo et al., (2002) constatent que l'exposition des algues à de faibles concentrations d'herbicides de type triazine, provoque une augmentation de la densité cellulaire et du taux de croissance après 96 heures de traitement. Cette stimulation de la croissance, obtenue aux concentrations les plus basses de terbutryn, montre la capacité des cellules algales, telles que *Chlorella vulgaris*, à s'adapter et à résister aux effets inhibiteurs des herbicides. Par contre, ces effets disparaissent aux concentrations plus élevées. Gonzalez-Barreiro et al., (2004) rapportèrent aussi, une stimulation du contenu en chlorophylle *a* et en caroténoïdes par l'atrazine, après 48 heures de traitement, suivie d'une baisse du contenu pigmentaire après 96 heures, chez la cyanobactérie *Synechococcus elongatus*. Ces effets stimulants, ont déjà été notés avec d'autres espèces et différents herbicides (El-Dib et al., 1991; Franqueira et al., 1999). Une réponse comme la synthèse de composants des thylacoïdes est considérée comme une adaptation générale aux situations dans lesquelles le transport photosynthétique des électrons est fortement limité (Behra et al., 1999). La résistance pourrait être due à une structure spécifique du PSII et à la composition pigmentaire (Hatfield et al., 1989).

Le dosage de proline montre que la teneur de cette dernière augmente significativement chez la variété Waha traitée avec l'herbicide Zoom, comparativement au témoin. Nos résultats concordent avec ceux de Bensoltane (2006) qui a enregistré une augmentation de la proline lors d'un stress du au NH_4NO_3 chez les mousses et les lichens. Aussi, Gaballah et Rady (2012) ont pu ressortir, que la proline augmente lors de l'exposition de *Pisum sativum L* au cadimium. Cette accumulation de proline, a été démontrée chez de nombreuses variétés de blé et dans plusieurs types de stress osmotiques, hydriques, et thermiques. (Bellinger et al., 1989; Ober et Sharp, 1994, Sassi et al., 2012).

L'accumulation de la proline est une des stratégies adaptatives déclenchées par la plante face aux contraintes de l'environnement (Belkhodja et Benkabilia, 2000). Cependant l'explication de l'accumulation de la proline est différente selon les auteurs (Valentovic et al., 2006), certains comme Hanson et al., (1977) affirment que c'est une conséquence pathologique, d'autres comme Stewart et Lee (1974) suggèrent que la proline à de fortes concentrations, agit comme soluté pour l'ajustement osmotique ; cette dernière pourrait, également intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique (Pesci et Beffagna,

1984) ou pour servir de réservoir de composés azotés et de carbone pour l'utilisation ultérieure dans la croissance.

Tahri et al., (1997) ; Cheikh M'hamed et al., (2008) ; Zraibi et al., (2012) et Laala et al., (2013) montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress est suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (chlorophylles *a* et *b*). Les résultats de **Tahri et al., (1997)** révèlent une certaine proportionnalité, mais inverse, entre les teneurs en proline accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliens perdus. 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**).

Cette augmentation de la concentration de proline cytoplasmique, est consécutive à la stimulation de sa synthèse, résultant d'une élévation, des quantités des messagers codant, pour l'enzyme qui convertit le glutamate semi-aldéhyde en proline. Il existe deux voies de biosynthèse de la proline chez les plantes, celle de l'ornithine et celle du glutamate. Cette dernière semble être prédominante sous conditions de stress (**Silva-Ortega et al., 2008**). Il semble que la stimulation de la synthèse de proline soit parallèle à une activation globale d'une voie métabolique partant du glutamate semi-aldéhyde et conduisant à la proline, mais aussi aux polyamines, via l'ornithine et l'arginine (**Bartels et Sunkar, 2005**). La proline agit en tant que composé soluble compatible dans l'ajustement osmotique, pouvant atteindre de fortes concentrations, sans exercer d'effets toxiques comme le cas des ions (**Yancey et al., 1982; Silva-Ortega et al., 2008**). En plus du rôle osmotique attribué à la proline, celle-ci intervient dans la détoxification des formes actives d'oxygène (**Hong et al., 2000; Kocsy et al., 2005**) et la stabilisation des protéines (**Ashraf et Foolad 2007; Majumder et al., 2010**), protégerait l'intégrité de la membrane plasmique (**Mansour, 1998**) et constituerait une source de carbone et d'azote (**Ahmad et Hellebust, 1988; Peng et al., 1996; Sairam et Tyagi, 2004**). Selon **Hare et Cress (1997)**. La proline maintient le rapport NADP+/NADPH compatible avec le métabolisme cellulaire et agirait sur le potentiel redox de la cellule ainsi que les processus de signalisation associés au stress salin, notamment par l'induction de l'expression des gènes de réponse qui possèdent au niveau de leur promoteur, des éléments de réponse à la proline tel que ACTCAT (**Chinnusamy et al., 2005**). L'accumulation de la proline chez diverses espèces de plantes stressées a été corrélée à leur capacité de tolérance,

et sa concentration est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que chez les plantes sensibles (**Ashraf et Foolad, 2007**).

Savouré et al., (1995) montrent chez *Arabidopsis* que l'augmentation de transcrits de la P5CR (Δ 1-pyrroline-5-carboxylate synthétase) est corrélée à une augmentation de 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 (Δ 1-pyrroline-5-carboxylate synthétase). L'induction de ce gène est directement reliée à la régulation du taux de proline dans les cellules en fonction du stress.

Concernant les dosages des sucres totaux, les résultats obtenus, avec les deux variétés de blé, suite aux traitements avec Sekator et Zoom, indiquent une diminution nette de la teneur en sucres totaux chez la variété HD, exposée à ces deux herbicides. Nos résultats concordent avec ceux de **Fayez et Abd-Elfattah (2007)** qui ont enregistré une diminution de la teneur en sucres totaux chez *Chlorella vulgaris* sous l'effet de l'herbicide Diuron. D'après les travaux de recherche de **Bordjiba et Ketif (2009)** sur l'effet de trois pesticides sur quelques métabolites physio-biochimiques du blé dur, ont constatés qu'il y avait une corrélation étroite entre les taux de glucides et de la chlorophylle. En effet, les glucides proviennent de la photosynthèse, ce processus met en jeu les molécules de chlorophylle *a*, *b* et caroténoïdes pour collecter l'énergie lumineuse, qui est transmise aux différents transporteurs d'électrons, de la chaîne photosynthétique, afin de réduire le NADP en NADPH + H⁺ et phosphoryler l'ADP en ATP + Pi. L'ATP et le NADPH ainsi produits sont utilisés pour réduire le CO₂ en molécules organiques tels que les glucides. Plus le nombre de molécules de chlorophylle *a*, chlorophylle *b* et caroténoïdes est important, plus l'énergie lumineuse absorbée est importante et la chaîne photosynthétique peut fonctionner au maximum de ses capacités.

Cependant, les sucres solubles sont également impliqués dans de nombreuses autres conditions de stress biotiques ou abiotiques, où ils ne sont pas accumulés comme dans les réponses au froid ou à la sécheresse (**Ramel, 2009**). Des expérimentations réalisant des pré-traitements de saccharose, ont permis de mettre en évidence des phénomènes d'induction de résistance à une infestation par *Magnaporthe oryzae* chez le riz (**Gomez-Ariza et al., 2007**), ou de tolérance au stress anoxique chez *Arabidopsis thaliana* (**Loreti et al., 2005**).

A propos de nos travaux réalisés sur la synthèse protéique, celle-ci ne semble pas être endommagée, par la présence des herbicides. Les quantités dosées à partir de l'extrait des feuilles, sont légèrement plus importantes que celles des plantes témoins, n'ayant pas subies

l'effet des herbicides. Les taux sont assez similaires dans tous les échantillons, sauf pour la variété HD exposée à l'herbicide Zoom. Il n'y a donc pas de grandes fluctuations en fonction de la nature des molécules et des différentes doses utilisées.

Nos résultats confirment ceux obtenus par **Kloskowski et al., (1992)**; **Dec et al., (1997)** qui affirment que les concentrations modérées de pesticides absorbées par les plantes n'influent pas beaucoup sur les teneurs en protéines. De nombreux auteurs ont signalé également que les taux des protéines à partir des échantillons contaminés par les pesticides sont quasiment identiques à ceux des plantes non contaminées.

La diminution de la teneur en protéines totales, chez la variété HD exposée à l'herbicide Zoom peut être due à l'augmentation de la teneur en proline. En effet l'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de l'altération de la biosynthèse des protéines (**Stewart et al., 1977**). Cette accumulation de proline peut être due également à une altération de quelques enzymes impliquées dans la photosynthèse. Par exemple, le cadmium induit une altération de la ribulose 1,5 bisphosphate carboxylase/oxygénase et également d'autres enzymes impliquées dans la photosynthèse, le cycle de Calvin et la biosynthèse de la chlorophylle. Cette altération est accompagnée d'une inhibition de la biosynthèse des acides gras, des acides aminés et des protéines ainsi que d'une altération de la croissance cellulaire (**Gillet et al., 2006**).

C. Effets des herbicides sur les biomarqueurs

1. Activité enzymatique

Dans notre travail, nous avons étudié trois activités enzymatiques à savoir la catalase (CAT), l'ascorbate peroxydase (APX) et le gaïacol peroxydase (GPX).

Activité de la catalase (CAT)

L'évolution de l'activité CAT des deux variétés Waha et HD, soumises au traitement Sekator et Zoom est représentée sur la figure 27 et les paramètres statistiques calculés par dose, par herbicide et par variété de blé sont représentés dans le tableau 31.

D'après l'analyse de la variance (Tableau 32), on constate que le Sekator a tendance à inhiber l'activité CAT de façon significative chez la variété HD, il reste cependant pratiquement sans effet chez les feuilles isolées de la variété Waha. Le traitement par le Zoom a tendance à stimuler l'activité CAT chez les feuilles isolées de la variété Waha beaucoup plus que chez les feuilles isolées de la variété HD.

Il ressort de ces traitements (Sekator et Zoom) que l'activité CAT enregistrée chez les feuilles isolées de la variété HD, est beaucoup plus sensible au Sekator, où le maximum de cette activité est de l'ordre de 2,61 fois moins élevé que celui enregistré avec la même variété exposée à l'herbicide Zoom.

Tableau 31. Paramètres statistiques de base des catalase (nmoles / min /mg de Prot) par dose, par herbicide et par variété de *Triticum*.

Herbicide	Variétés	Dose	n	x	SD
Sekator	Waha	D0	3	0,95	0,62
		D1	3	0,81	0,02
	HD	D0	3	0,86	0,17
		D1	3	0,33	0,12
Zoom	Waha	D0	3	0,95	0,62
		D1	3	2,79	0,72
	HD	D0	3	0,86	0,17
		D1	3	0,83	0,61

Tableau 32. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, de l'activité catalase obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de *Triticum*.

Herbicide	Variété	ddl	CM	F_{obs}	P
Sekator	Waha	1	0,028	0,14	0,723 NS
	HD	1	0,4214	18,7	0,012*
Zoom	Waha	1	5,06	11,15	0,029*
	HD	1	0,001	0,01	0,939 NS

Les mesures des activités CAT des feuilles isolées traitées et non traitées des deux variétés du blé sont rapportées dans la figure 27.

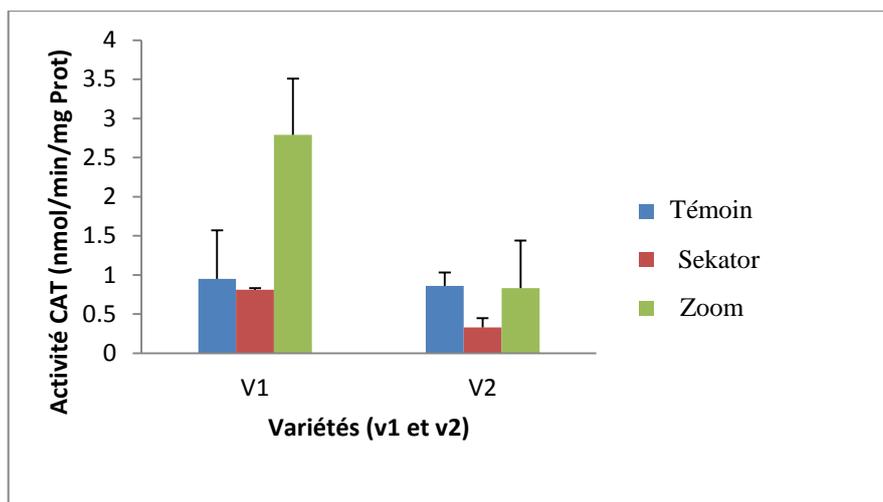


Figure 27. Effets du traitement par le Sekator et Zoom sur l'activité CAT chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD ($m \pm SD$; $n = 3$).

Activité Ascorbate Peroxydase (APX)

Les paramètres statistiques calculés sur l'activité ascorbate peroxydase par dose et par variétés de blé, figurent dans le tableau 33.

La comparaison des moyennes, effectuées par l'analyse de la variance, entre le témoin et la dose homologuée de chacun des deux herbicides et pour chaque variété de blé, montrent des différences hautement significatives pour les variétés exposées au Sekator, cette différences se traduit par une diminution de l'activité APX pour la variété Waha et une augmentation de l'activité enzymatique pour la variété HD. Par contre on constate que l'exposition à l'herbicide Zoom, des feuilles isolées de la variété HD, provoque une stimulation de l'activité APX. En effet celle-ci passe de 18,09 à 35,87 nmoles / min /mg de Prot (Tableau 34).

Tableau 33. Paramètres statistiques de base calculés sur l'activité de l'ascorbate peroxydase, par herbicide et par variété de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Doses	x	SD
Sekator	Waha	D0	68,21	10,36
		Ds	34,88	04,40
	HD	D0	18,09	05,72
		Ds	49,10	05,17
Zoom	Waha	D0	68,21	10,36
		Dz	53,86	15,78
	HD	D0	18,09	05,71
		Dz	35,87	07,69

Tableau 34. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, de l'activité ascorbate peroxydase obtenus pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Paramètres statistiques			
		ddl	CM	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	1666,7	26,33	0,007 **
	HD	1	1442,4	48,53	0,002 **
Zoom	Waha	1	309	1,73	0,258 NS
	HD	1	474, 2	10, 32	0,033 *

L'évolution de l'activité APX des deux variétés Waha et HD exposés aux deux herbicides: Sekator et Zoom sont représentées sur la figure 28.

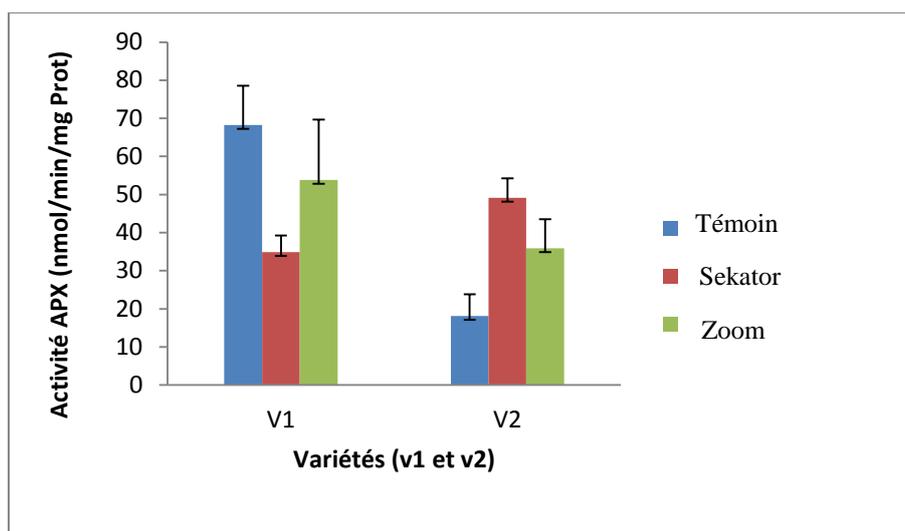


Figure 28. Effets du traitement herbicides sur l'activité APX chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD ($m \pm SD$; $n = 3$).

Activité Gaïacol Peroxydase (GPX)

Les paramètres statistiques calculés sur l'activité gaïacol peroxydase par doses et par variété de blé, figurent dans le tableau 35.

La comparaison des moyennes effectuées par l'analyse de la variance, entre le témoin et traités, montrent des différences non significatives pour la variété Waha exposées aux Sekator et Zoom par contre nous constatons que le traitement par ces deux herbicides, provoque une diminution significative à hautement significative de l'activité GPX des feuilles isolées de la variété HD (Tableau 36).

Tableau 35. Paramètres statistiques de base calculés sur l'activité gaïacol peroxydase, par herbicide et par variété de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Doses	x	SD
Sekator	Waha	D0	120,64	33,54
		Ds	99,95	05,08
	HD	D0	131,35	10,37
		Ds	90,55	14,67
Zoom	Waha	D0	120,64	33,54
		Dz	108,01	07,20
	HD	D0	131,35	10,37
		Dz	87,45	10,80

Tableau 36. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, de l'activité de gaïacol peroxydase obtenus pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Paramètres statistiques			
		ddl	CM	F_{obs}	P
Sekator	Waha	1	642	1,12	0,350 NS
	HD	1	2497	15,47	0,017 *
Zoom	Waha	1	239	0,41	0,558 NS
	HD	1	2892	25,80	0,007 **

Les mesures de l'activité GPX des feuilles isolées traitées et non traitées des deux variétés du blé sont rapportées dans la figure 29.

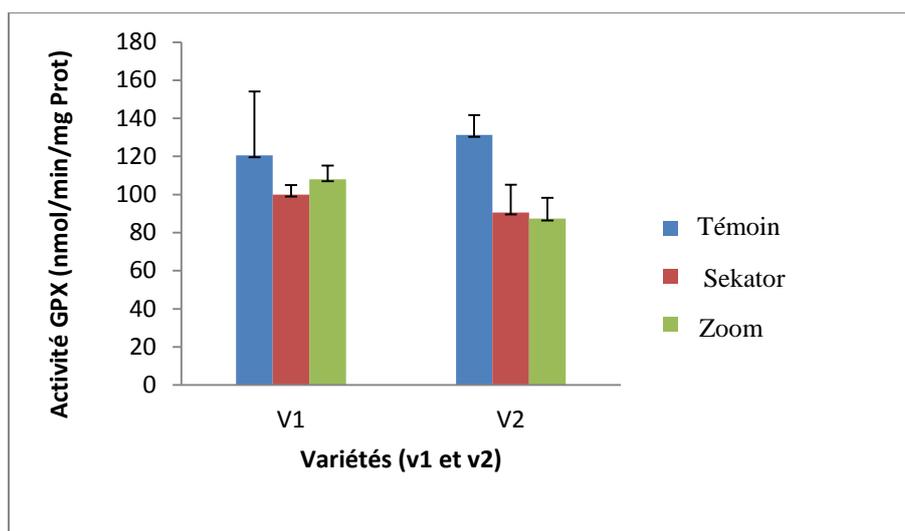


Figure 29. Effets du traitement herbicide, sur l'activité GPX chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD ($m \pm SD$; $n = 3$).

2. Les lipoperoxydes membranaires

Les paramètres statistiques, calculés sur les lipoperoxydes membranaires par dose d'herbicide et par variété de blé, figurent dans le tableau 37.

La comparaison des moyennes effectuées par l'analyse de la variance, entre témoin et traités, montrent des différences non significatives, pour la variété Waha, exposée à l'herbicide Sekator et pour la variété HD exposée à l'herbicide Sekator et Zoom. Cependant, nous constatons que le traitement par l'herbicide Zoom, provoque une diminution significative de MDA des feuilles isolées de la variété Waha (Tableau 38).

Tableau 37. Paramètres statistiques de base calculés sur le MDA (n mol / g de PF) par dose, par herbicide et par variété de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Doses	x	SD
Sekator	Waha	D0	15,81	2,18
		Ds	14,34	1,95
	HD	D0	09,78	0,49
		Ds	10,47	3,13
Zoom	Waha	D0	15,81	2,18
		Dz	09,66	2,90
	HD	D0	09,78	0,49
		Dz	11,83	2,62

Tableau 38. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, des MDA obtenus, pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Paramètres statistiques			
		ddl	CM	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	03,21	0,74	0,435 NS
	HD	1	00,71	0,14	0,725 NS
Zoom	Waha	1	56,67	8,59	0,043*
	HD	1	06,26	1,76	0,255 NS

La représentation graphique des résultats statistiques obtenus dans le cas d'exposition des deux variétés Waha (V1) et HD (V2) aux herbicides est illustrée sur la figure 30.

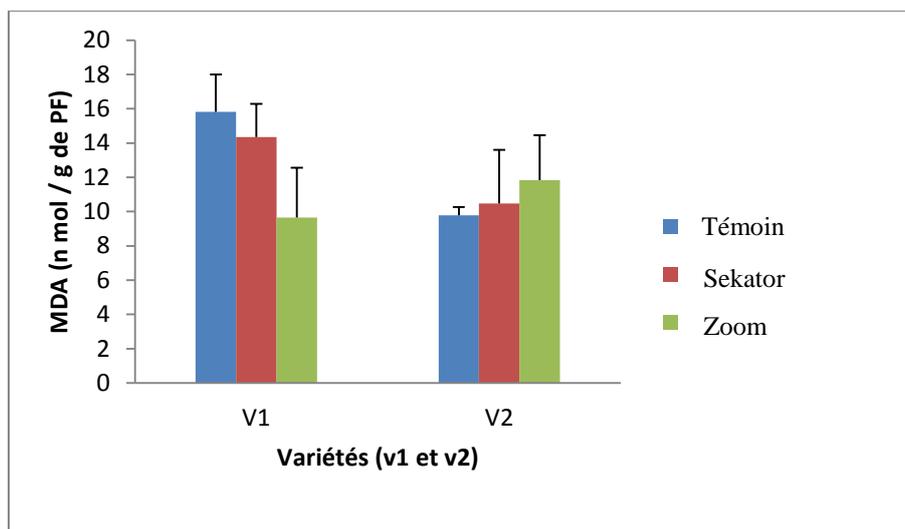


Figure 30. Effets du traitement herbicide, sur le MDA chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD ($m \pm SD$; $n = 3$).

3. Les composés phénoliques

Teneur des phénols totaux

Le dosage des phénols totaux, est effectué par la méthode spectrophotométrique adaptée de **Singleton et Ross (1965)** avec le réactif de Folin-Ciocalteu.

Les résultats obtenus sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par gramme de matière végétale sèche (mg EAG/g de MS), en utilisant l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage tracée de l'acide gallique.

Les paramètres statistiques calculés sur la teneur des phénols totaux (mg EAG/g de MS), par dose et par variété de blé, figurent dans le tableau 39.

La comparaison de moyennes effectuées par l'analyse de la variance, entre le témoin et la dose homologuée de chacun des deux herbicides et pour chaque variété de blé, montrent des diminutions significatives de la teneur des phénols totaux pour la variété Waha exposée à l'herbicide Sekator (Tableau 40).

Tableau 39. Paramètres statistiques de base calculés sur la teneur des phénols totaux par dose, par herbicide et par variété de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Doses	x	SD
Sekator	Waha	D0	364,59	20,54
		Ds	292,82	40,76
	HD	D0	383,76	32,35
		Ds	408,35	17,82
Zoom	Waha	D0	364,59	20,54
		Dz	394,47	40,36
	HD	D0	383,76	32, 35
		Dz	381,29	07,24

Tableau 40. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, de la teneur des phénols totaux obtenus pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Paramètres statistiques			
		ddl	CM	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	7726	7,42	0,05 *
	HD	1	907	1, 33	0,313 NS
Zoom	Waha	1	1340	1,31	0,317 NS
	HD	1	9	0,02	0,904 NS

La variation de la teneur des phénols totaux des feuilles isolées traitées et non traitées des deux variétés du blé sont rapportées dans la figure 31.

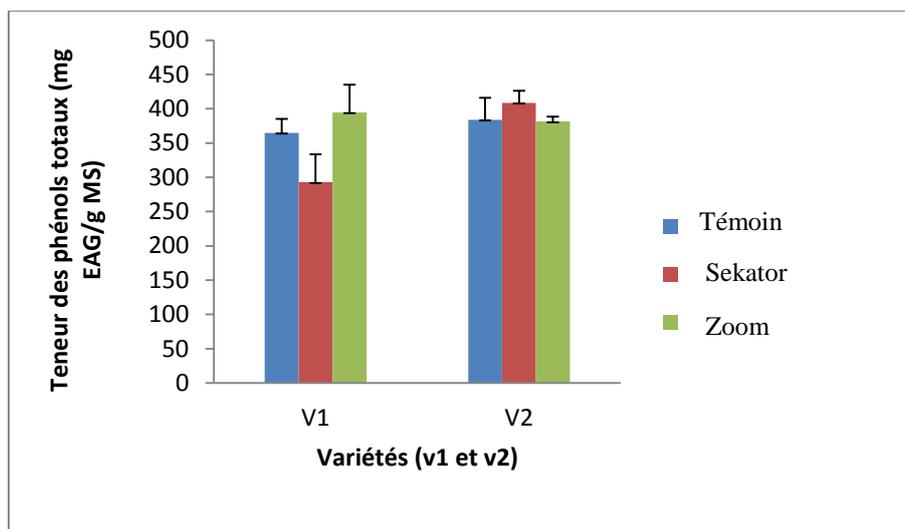


Figure 31. Effets du traitement herbicide, sur la teneur des phénols totaux chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD ($m \pm SD$; $n = 3$).

Teneur des flavonoïdes

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé par la méthode colorimétrique décrite par **Zhishen et al, (1999)**. La catéchine considérée comme contrôle positif a permis de réaliser une courbe d'étalonnage, à partir de laquelle nous avons calculé, la teneur en flavonoïdes des différentes parties de la plante qui est exprimé en mg équivalent de catéchine (EC) par gramme de matière végétale sèche.

Les paramètres statistiques calculés sur la teneur en flavonoïdes (mg EC/g MS), par dose et par variété de blé, figurent dans le tableau 41.

La comparaison de moyennes effectuées par l'analyse de la variance, entre le témoin et la dose homologuée de chacun des deux herbicides, et pour chaque variété de blé, montrent des diminutions hautement significatives en flavonoïdes pour la variété Waha exposée au Sekator (Tableau 42).

Tableau 41. Paramètres statistiques de base calculés sur la teneur en flavonoïdes par dose, par herbicide et par variété de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Doses	x	SD
Sekator	Waha	D0	1,17	0,12
		Ds	0,60	0,13
	HD	D0	0,55	0,01
		Ds	0,54	0,03
Zoom	Waha	D0	1,17	0,12
		Dz	0,91	0,29
	HD	D0	0,55	0,01
		Dz	0,58	0,18

Tableau 42. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison de la teneur en flavonoïdes obtenus pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Paramètres statistiques			
		ddl	CM	F _{obs}	P
Sekator	waha	1	0,4913	30,87	0,005**
	HD	1	0,000081	0,14	0,729 NS
Zoom	waha	1	0,1069	2,11	0,220 NS
	HD	1	0,0014	0,09	0,785 NS

La variation de la teneur en flavonoïdes des feuilles isolées traitées et non traitées des deux variétés du blé est rapportée dans la figure 32.

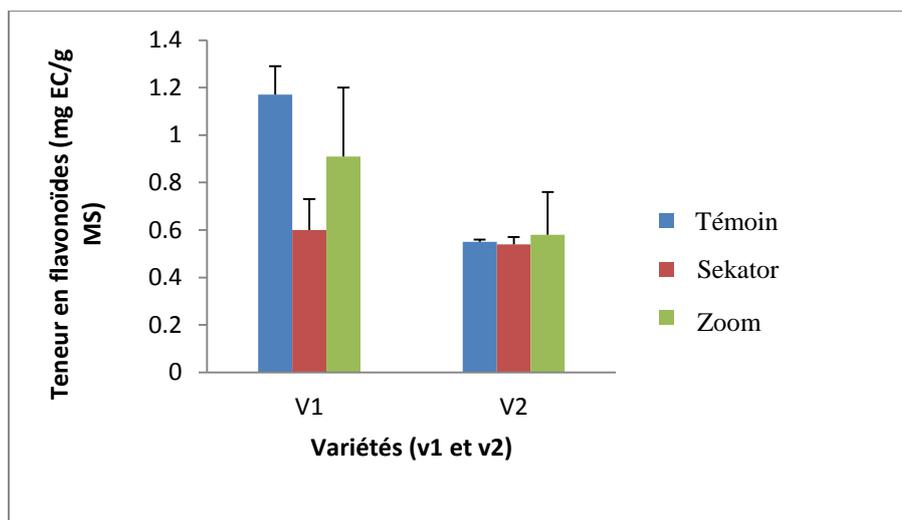


Figure 32. Effets du traitement herbicide, sur la teneur en flavonoïdes chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD ($m \pm SD$; $n = 3$).

Teneur des tanins

La quantification des tanins a été effectuée par une méthode adaptée par **Zhang et al., (2008)**. Une courbe d'étalonnage est réalisée en utilisant de la catéchine comme contrôle positif. Les résultats sont exprimés en milligramme (mg) équivalent de la catéchine par gramme de la matière végétale sèche (mg EC/g de MS).

Les paramètres statistiques calculés sur la teneur en tannins (mg EC/g de MS), par dose et par variété de blé, figurent dans le tableau 43.

La comparaison de moyennes effectuées par l'analyse de la variance, entre le témoin et la dose homologuée de chacun des deux herbicides, et pour chaque variété de blé, montrent des différences non significatives sur la teneur en tannins pour les variétés traitées et non traitées (Tableau 44).

Tableau 43. Paramètres statistiques de base calculés sur la teneur en tannins par dose, par herbicide et par variété de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Doses	x	SD
Sekator	Waha	D0	0,45	0,07
		Ds	0,54	0,04
	HD	D0	0,67	0,09
		Ds	0,74	0,07
Zoom	Waha	D0	0,45	0,07
		Dz	0,63	0,12
	HD	D0	0,67	0,09
		Dz	0,71	0,006

Tableau 44. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison entre le témoin et la dose au plein champ, de la teneur en tannins obtenus pour chacun des deux herbicides appliqués à chacune des deux variétés de *Triticum*.

Herbicides	Variétés	Paramètres statistiques			
		ddl	CM	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	0,01354	3,85	0,121 NS
	HD	1	0,00714	1,05	0,363 NS
Zoom	Waha	1	0,0481	4,78	0,094 NS
	HD	1	0,0024	0,61	0,478 NS

Les mesures de la teneur en tannins des feuilles isolées traitées et non traitées des deux variétés du blé sont rapportées dans la figure 33.

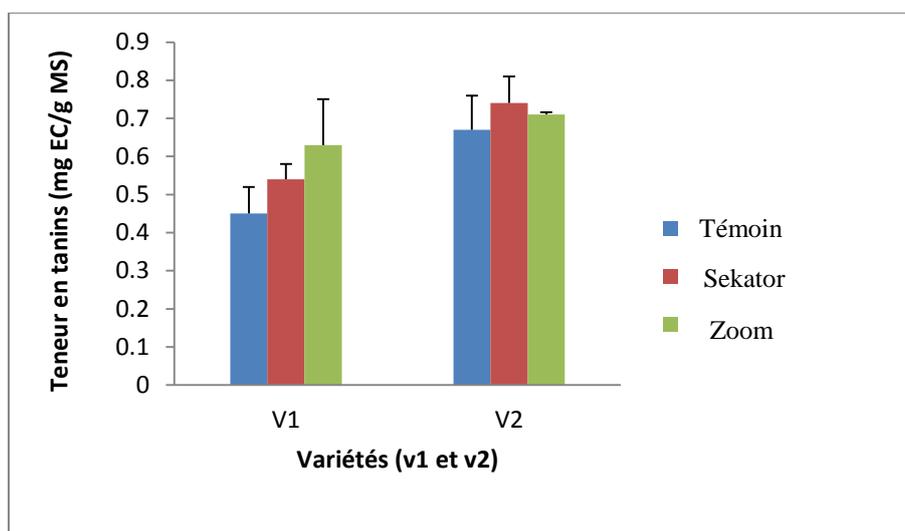


Figure 33. Effets du traitement herbicide, sur la teneur en tanins chez les feuilles isolées des deux variétés Waha et HD ($m \pm SD$; $n = 3$).

Activité antiradicalaire des polyphénols

Ce test est basé sur la mesure de la capacité des produits étudiés, à réduire le radical DPPH (2, 2'-diphényl-1-picrylhydrazyl) *in vitro* le DPPH-H. En présence d'un antiradicalaire, l'hydrate 2,2 diphényl -1-picrylhydrazyl, de couleur violette se transforme en jaune par l'aspect du 2,2 diphényl -1-picrylhydrazyl (Tableau 45). Les changements de la couleur passent du violet foncé au jaune léger.

Tableau 45. Effet scavenger de l'extrait méthanolique et de l'acide ascorbique vis-à-vis du radical libre DPPH *in vitro*

Extrait méthanolique	% de réduction
Waha témoin	61,73
Waha traité avec Sekator	47,73
Waha traité avec Zoom	52,53
HD témoin	54,80
HD traité avec Sekator	57,60
HD traité avec Zoom	54,80
Acide ascorbique	57,86

L'activité antiradicalaire *in vitro* des flavonoïdes est évaluée par la diminution du taux de DPPH° dosé (Figure 34).

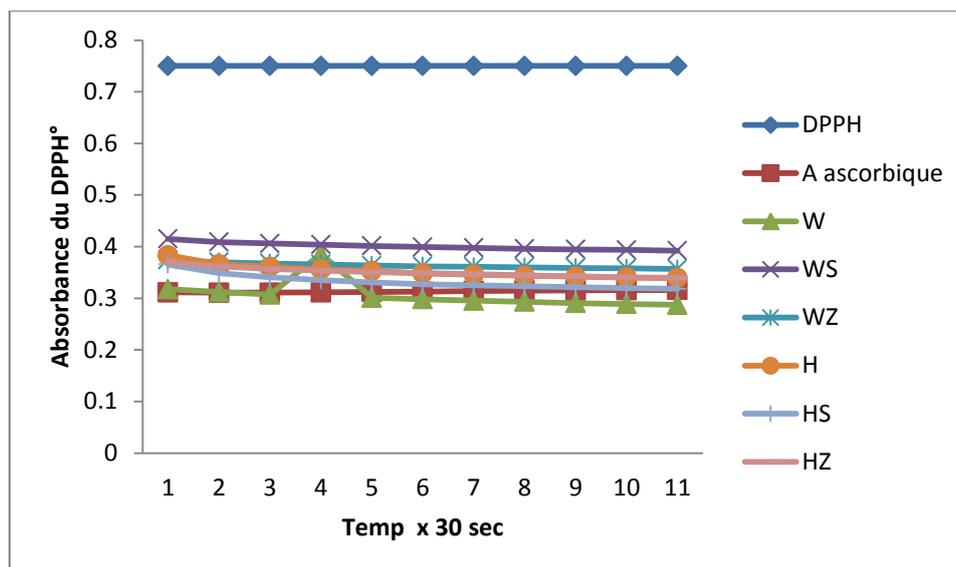


Figure 34. Cinétique de la réaction de réduction du DPPH des extraits méthanoliques (n = 3).

La lecture de cette figure, montre que l'effet antiradicalaire des extraits méthanolique est variété dépendant. Le pouvoir antioxydant vis à vis du DPPH°, le plus élevé (61, 73 %) est observé avec la variété Waha, pouvoir équivalent à celui qu'exerce la vitamine C (57, 86%).

Le classement des variétés pour cette phase se fera par ordre décroissant, de la plus faible capacité du piégeage vers la plus forte capacité:

$$WS < WZ < H \text{ et } HZ < HS < W$$

4. Discussion

Les résultats obtenus, indiquent que les herbicides sont des agents inducteurs de stress oxydant provoquant des perturbations importantes du métabolisme cellulaire chez le genre *Triticum*. Pour faire face au stress, la plante va mobiliser des systèmes antioxydants. Ces systèmes antioxydants peuvent être enzymatiques et/ou non-enzymatiques et la coopération entre ces antioxydants joue un rôle important dans l'élimination des ROS et le maintien du statut redox de la plante (Cho et Seo, 2005). La détoxification peut être envisagée par plusieurs enzymes : La catalase (CAT) localisée au niveau des peroxysomes et des mitochondries, le

glaucoperoxydase ou GPX localisée au niveau du cytoplasme et des parois cellulaires et les enzymes du cycle ascorbate-gluthion (APX, MDHAR, DHAR et GR). Ce cycle est localisé dans plusieurs compartiments cellulaires tels que les chloroplastes, le cytosol, les peroxysomes et les membranes plasmiques (**Jiménez et al., 1997; Noctor et Foyer, 1998**).

Chez le blé, le niveau de l'activité spécifique des trois enzymes étudiées est variable. Le dosage des enzymes intervenants dans la détoxification, à savoir la catalase, montre que le traitement par l'herbicide Zoom a tendance à stimuler cette enzyme chez la variété Waha, alors que le traitement par l'herbicide Sekator a tendance à inhiber la catalase chez la variété HD.

L'augmentation de l'activité de la catalase est étroitement liée à l'augmentation de la concentration intracellulaire du peroxyde d'hydrogène et du Ca^{2+} . En situation de stress, une augmentation de la teneur en calcium entraîne une stimulation de l'activité de cette enzyme suite à la fixation de l'ion calcique à une protéine cytosolique, appelée calmoduline, formant un complexe Ca^{2+} calmoduline. Ce dernier joue le rôle d'une molécule signal, stimulant l'activité de la catalase (**Yang et Poovaiah, 2002**). Cette enzyme est connue dans la réduction des taux d' H_2O_2 néfastes pour l'intégrité cellulaire (**Willekens et al., 1997**). Ainsi l'absorption des matières actives contenues dans les deux herbicides, seraient à l'origine de la synthèse de radicaux libres en quantités importantes générant ainsi un véritable stress oxydatif (**Greene, 2002**). La diminution de ce paramètre, lorsque la variété HD est cultivée en présence du Sekator montre qu'elle est plus sensible à cette molécule, que l'autre variété. Chez les céréales, la catalase est considérée comme un marqueur central dans la protection contre le stress oxydatif, principalement dans des conditions de stress abiotique.

Ainsi, les travaux de **Kim et al., 2005 et Khosravinejad et al., 2008**, ont montré que l'activité de la catalase augmente dans les racines de l'orge, soumis à un stress salin. De même, des plantes infectées par des virus, connaissent une augmentation de l'activité des enzymes du système antioxydant dont la catalase, après traitement aux glucanes (**Kim et al., 2009**). Dans notre recherche, l'exposition à l'herbicide Sekator entraîne une variation significative de l'activité APX chez les variétés étudiées. La variété Waha présente une diminution de l'activité APX, par contre chez la variété HD, nous enregistrons une stimulation hautement significative de l'ascorbate peroxydase comparativement au témoin, et au moment de l'exposition à l'herbicide Zoom, l'activité APX augmente, par rapport au témoin, chez la variété HD. La même réponse a été également enregistrée, chez le blé soumis aux conditions de sécheresse (**Zhang et Kirkham, 1994**). Cependant, une chute dans

l'activité peroxydase au niveau des sapins (**Kaminska-Rozek et Pukacki, 2004**) et du riz (**Boo et Jung, 1999**) a été mise en évidence. Entre temps, l'exposition à l'herbicide Sekator provoque une diminution significative de l'activité gaïacol peroxydase chez la variété HD et une diminution hautement significative de cette activité chez la même variété exposée à l'herbicide Zoom.

Un certain nombre d'explications à propos de l'augmentation de l'activité enzymatique sont possibles. Les concentrations élevées de H_2O_2 pourraient libérer la peroxydase des structures membranaires, auxquelles elle est normalement associée (**Zhang et Kirkham, 1994**). La catalase et l'ascorbate sont les enzymes antioxydantes les plus efficaces (**Khaldi, 2013**).

La diminution de l'activité GPX dont le rôle est d'éliminer H_2O_2 , est associée à une capacité de régénération accrue, en accord avec les travaux de **Tian et al., (2003)** et **Tang et Newton (2005)**. Les métaux lourds sont connus pour accroître la formation de ROS (**Siedlecka et Krupa, 2002**), produisant un stress oxydatif secondaire, dont une altération de la structure des protéines, par oxydation des groupes thiols, conduisant à une baisse de l'activité GPX, donc la baisse d'activité GPX pourrait être expliquée par une oxydation sous l'effet des ROS des groupes thiols de cette enzyme (**Davies, 1987 ; Van Assche et Clijsters, 1990 ; Dietz, 2005**), réduisant ainsi l'élimination de H_2O_2 .

Dans notre étude, la diminution de l'activité GPX, laisse suggérer que le gaïacol peroxydase peut ne pas être si suffisant dans l'élimination de H_2O_2 . Les peroxydases, qui sont spécifiquement impliquées dans la détoxification de H_2O_2 , incluent le glutathion, le cytochrome c et les ascorbate peroxydases (**Jiang et Huang, 2001; Hodges et Forney, 2000**). Le rôle de la peroxydase non spécifique dans la protection contre le H_2O_2 est mineur (**Zhang et Kirkham, 1994**) et sa fonction est généralement moins définie puisqu'elle catalyse l'oxydation des substrats phénoliques (**Boo et Jung, 1999 ; Kaminska-Rozek et Pukacki, 2004**) et elle pourrait aussi avoir une autre fonction physiologique. Cependant, **Bacon et al., (1997)** ont rapporté que des changements de l'activité cytoplasmique sont souvent associés à l'induction du système antioxydant. La réduction des activités CAT et de POX induites par le déficit hydrique, souligne l'accumulation de $O_2^{\cdot-}$ et de H_2O_2 . Ainsi, le niveau élevé de ces formes actives de O_2 peut mener à la production des radicaux hydroxyles ($OH\cdot$) fortement actifs par l'intermédiaire du métal de transition tel que le fer et le cuivre ; catalyseurs de cycle Haber-Weiss (**Smirnoff, 1993**). $OH\cdot$ est considéré comme la forme active de l'oxygène la plus susceptible pour déclencher la destruction peroxydative des lipides et des dommages conséquents (**Zhang et Kirkham, 1994**).

Le MDA est un agent alkylant puissant, capable de réagir avec les macromolécules biologiques. Le dosage de ce composé, présente donc un intérêt certain chez les végétaux soumis à des contaminations multiples (**Narbonne et al., 1991**). Concernant nos résultats, les valeurs enregistrées pour les teneurs en MDA interrégissent avec l'acide thiobarbiturique (TBA), indiquent que celles-ci diminuent avec le traitement par l'herbicide Zoom pour la variété Waha. La diminution de la peroxydation des lipides traduit, selon **Xue et al., (2001)**, une diminution des effets oxydatifs des espèces réactives de l'oxygène.

En support au cycle Halliwell-Asada, lorsque celui-ci ne suffit plus à détoxifier les radicaux libres, plusieurs observations soutiennent que des composés phénoliques pourraient prendre la relève. Ces composés forment un groupe important de métabolites secondaires dans les végétaux, tant par leur diversité, leur concentration et leurs fonctions, dont possiblement un rôle photoprotecteur (**Edreva, 2005**). Cependant, l'efficacité du processus de détoxification par les composés phénoliques n'est toujours pas établie, notamment parce que les radicaux libres sont principalement produits dans les chloroplastes et les mitochondries alors que les composés phénoliques s'accumulent principalement dans les vacuoles des cellules épidermiques. Pour certains auteurs (**Yamasaki et al., 1997**), leur localisation ne serait pas une contrainte au processus de détoxification, car certains radicaux libres (H_2O_2) sont facilement translocables (long temps de vie) et pourraient donc rejoindre les composés phénoliques jusque dans l'épiderme. De plus, il est déjà bien connu que les composés phénoliques démontrent une forte capacité antioxydante. Plusieurs de ces composés ont même une capacité antioxydante supérieure, à celle de l'acide ascorbique (**Rice-Evans, 2001**).

Beaucoup de travaux relie aussi bien le métabolisme des phénols, que la teneur de ces composés, à l'induction d'un certain type de stress aux plantes (**Rivero et al., 2001 ; Ruiz et al., 1998**). La structure polyphénolique permet la détoxification des espèces toxiques de l'oxygène (**Rice-Evans et al., 1996**). Les réponses antioxydantes des flavonoïdes réside dans leurs propriétés de détoxifier le radical superoxyde et l'oxygène singulet (**Bors et al., 1996**) et leur action devient importante sous stress hydrique quand la production des radicaux superoxydes accroît (**Sgherri et al., 1996**). En revanche, le potentiel antioxydant des polyphénols simples est moins connu (**Caldwell, 2001**).

Ce pouvoir antioxydant est imputable aux groupements hydroxyles des composés phénoliques. Leur potentiel de réduction est fonction de la structure catéchol de l'anneau benzoïque (B), de la position des doubles liaisons et de la quantité de groupements hydroxyles (Figure 35). Les composés phénoliques avec un groupement diphenol en position

ortho ou para comme les catéchines ont un potentiel d'oxydation plus faible, donc sont plus facilement oxydés, que ceux avec des diphénoles en position méta ou des phénols seuls comme les flavones qui sont moins réactives (**Kilmartin et al., 2001**).

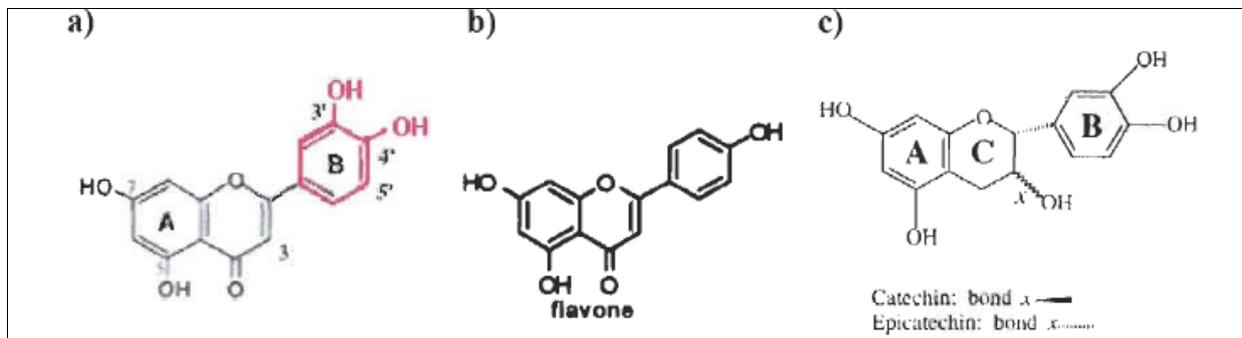


Figure 35. Structure chimique typique (a) des flavonoïdes (**Yamasaki et al., 1997**), (b) des Flavones (**Dixon et Paiva, 1995**) et (c) des catéchines (**Kilmartin et Hsu, 2003**).

Les composés phénoliques joueraient le rôle de donneurs d'électrons et d'un atome d'hydrogène afin de réduire le peroxyde d'hydrogène pour les scinder en H₂O et O₂ (**Castelluccio et al., 1995; Yamasaki et al., 1997**). Cette réaction est catalysée par les peroxydases de classe III, le plus souvent dénotée guaiacol peroxydase, qui se retrouvent dans les vacuoles et l'apoplaste (parois cellulaires) (**Almagro et al., 2009**). Les composés phénoliques qui ont été oxydés dans cette réaction peuvent être réduits par l'acide ascorbique pour reprendre leur état d'oxydoréduction initial. L'acide ascorbique pourra être de nouveau réduit à l'aide de l'enzyme dehydroascorbate réductase pour être réutilisé.

Plusieurs type de stress peuvent causer une réduction de la teneur des composés phénoliques, comme par exemple la lumière blanche, les UV-A ou encore les UV-B influencent fortement l'expression des gènes structuraux et régulateurs de la voie des flavonoïdes chez *Arabidopsis* ou chez la Pomme (*Malus domestica*), même si la synthèse de ces molécules peut avoir lieu à l'obscurité (**Cominelli et al., 2008; Rowan et al., 2009**). Dans les baies soumises à l'ombrage, à partir de 2 semaines après la véraison, la quantité de quercétine (flavonol) diminue de plus de moitié à la maturité. Cette diminution est corrélée avec l'expression de *VvFLS4*, qui est nettement réduite, voire totalement abolie dans les baies ombragées (**Spayd et al., 2002; Fujita et al., 2006; Matus et al., 2008**). De même, l'ombrage à partir du stade véraison de baies de Cabernet Sauvignon, diminue de plus de moitié, la teneur en anthocyanes de la pellicule. La chute de la concentration en anthocyanes

est corrélée avec la très forte baisse de l'expression de la plupart des gènes codant les enzymes de cette voie de biosynthèse, tels que *CHS*, *CHI*, *F3H*, *DFR*, *LDOX* ou encore *UFGT* (**Jeong et al., 2004**; **Joscelyne et al., 2007**; **Matus et al., 2008**).

Les pratiques culturales ou la nutrition des plantes peuvent affecter la biosynthèse des flavonoïdes. En effet, un excès ou au contraire un déficit en azote du milieu de culture, de même que de forts taux de potassium, entraînent une baisse de la pigmentation des baies (**Downey et al., 2006**). Aussi d'après les études de **cadet, (2008)**, il a été observé que chez les plants de tournesol carencés en K une inhibition plus précoce de la photosynthèse (J7) que de la croissance (J14), et une diminution de la concentration des composés phénoliques.

Les tanins ont également de grandes capacités antioxydantes dues à leurs noyaux phénols (**Peronny, 2005**). Elles ont la particularité d'inhiber la peroxydation des lipides, en agissant comme donneur de protons et accepteur de radicaux libres, stoppant ainsi le mécanisme d'auto oxydation (**Perret, 2001**). Les tanins hydrolysables et condensés sont 15 à 30 fois plus efficaces que les phénols simples (**Peronny, 2005**). De même, il a été démontré in vitro que les tanins sont plus actifs que les vitamines.

L'étude de **Clotilde et al., (2011)** montre que le stress hydrique avant véraison n'influence pas l'accumulation des tanins condensés. Il en est de même pour le stress après véraison. Leur extractibilité diminue après véraison quelle que soit la modalité appliquée. À maturité, les différences de teneurs entre les trois modalités ne sont pas significatives. Les valeurs de degré moyen de polymérisation confirment l'absence d'impact des stress sur la composition des tanins condensés.

D. Effets des herbicides sur l'anatomie racinaires des espèces étudiées

Anatomie comparée des racines des deux espèces de blé (hors stress)

Selon les figures 36 et 37, les coupes anatomiques réalisées renferment toutes les couches caractéristiques de la structure primaire de la racine des monocotylédones.

Il existe deux types de structure anatomique chez la racine. Une structure dite primaire qu'on rencontre chez les jeunes racines et plantules (monocotylédones), et une structure dite secondaire rencontrée chez les plantes plus âgées, mais uniquement chez les dicotylédones et les gymnospermes (**Normand, 1972**).

Sur une coupe transversale de jeune racine on distingue deux zones:

- l'écorce : cette partie est constituée du rhizoderme qui porte d'abord les poils absorbants de la racine (assise pilifère) puis une couche de cellules subérisées et un parenchyme cortical, qui assure le transport des éléments absorbés jusqu'au centre de la racine. La dernière couche de cellules de ce parenchyme est épaissie et forme une forte barrière de contrôle des molécules circulant dans la racine, c'est l'endoderme.
- Le cylindre central : c'est le siège des tissus de transport de sève, de la racine vers le reste de la plante. Il est composé tout d'abord du péricycle, une couche de cellules à partir de laquelle vont se former les ramifications de la racine.

En avançant vers le cœur de l'organe on découvre deux tissus conducteurs, le xylème (ou bois) qui conduit la sève brute vers les feuilles, et le phloème (ou liber) qui redistribue la sève élaborée, dans toute la plante. Ces deux types de tissus, issus d'une couche intermédiaire de procambium, sont disposés en cercle, alternativement. Ensuite au centre de la racine, la moelle, composée de parenchyme médullaire, n'a pas de fonction particulière (**Macleod, 1991**).

En examinant les coupes transversales représentant la structure primaire de la racine de *Triticum* de l'extérieur à l'intérieur, on peut observer que le cortex est composé d'une seule couche d'assise pilifère et des poils absorbants qui est la couche la plus éloignée, suivie par une couche de parenchyme corticale. Une couche d'endoderme a été localisée à la partie la plus éloignée du cylindre central, suivie par 13-14 arcs de xylème avec des cellules phloème

parmi eux et 4-5 gros vaisseaux de métaxylème orientés vers le centre de la coupe et entourés par un parenchyme médullaire lignifié. Dans la racine, xylème et phloème sont typiquement en position alterne. Les pôles vasculaires comme les pôles phloémiens sont externes et les cellules conductrices ont une différenciation centripète.

Impact du traitement sur l'anatomie de la racine des deux espèces de blé

Les figures 38 et 39, affichent les changements histologiques enregistrés aux niveaux des coupes anatomiques réalisées sur les apex racinaires, des deux espèces étudiées de *Triticum* soumises au traitement herbicide.

Conformément aux travaux de **Yilmaz et Dane (2013)**, qui ont mis en évidence des changements marquants dans l'anatomie des racines, de *Triticum aestivum*, ayant subi un effet phytotoxique sous l'influence de deux herbicides : *Attribut* (propoxycarbazone-sodium) et *BioPower* (sodium alkyl éther sulfate), nos images microscopiques, mettent aussi en évidence des changements visibles, dans l'anatomie racinaire des deux espèces étudiées, face au xénobiotique « *Sekator* ».

En effet, chez *Triticum durum* Desf, les changements remarquables entre le témoin (a) et le cas stressé (b) consistent en une diminution du nombre des vaisseaux du métaxylème, ils sont de l'ordre de 3-4 (figure b), tandis qu'ils deviennent 5 chez le témoin. La comparaison de a et b a montré que le diamètre de cylindre central devient plus étroit par rapport au témoin et au niveau du cortex une perturbation peut être observée dans les cellules du parenchyme.

Chez *Triticum aestivum*, et contrairement au cas de l'espèce précédente, le cylindre central de la racine est nettement plus large chez la plante traitée. Ceci a fait que le cortex paraissait, dans la coupe, en un état de rétrécissement par rapport au témoin. Il convient aussi de signaler que la sclérisation envahit toute la masse du cylindre central et que la moelle est complètement sclérifiée, vu que les vaisseaux du métaxylème occupent cette région. Il est aussi à noter que chez cette dernière espèce, quelques destructions des cellules du parenchyme cortical peuvent être observées.

Les effets toxiques peuvent être observés aussi, chez la variété *Waha* exposée à l'herbicide *Zoom* et qui se traduit par un changement histologique au niveau du cortex : une réduction se manifeste dans les cellules du parenchyme cortical, aussi un épaissement de l'assise pilifère, a été observé dans la racine comparativement à la coupe témoin.

Les résultats de **Tort et al., (2004)** sur l'application de deux fongicides Akrobat et Sandofan à des plants de tomates avec la dose recommandée, trouvent la même observation concernant la diminution des cellules de xylème par rapport au témoin, aussi la modification des cellules du parenchyme cortical. Dans une étude menée sur *Pinus radiata*, **Schmitt et al., (2006)** ont observé que l'augmentation produite dans la lignine (substance lipidique imperméable) est en fonction de stress dans les trachéides, éléments primitifs de xylème, et dans ce cas le galactane peut couvrir une plus grande surface dans la paroi cellulaire. **Xue et al., (2008)** ont constaté dans leur étude, que la synthèse de peroxydases apoplastiques augmente, H₂O₂, et la synthèse de la lignine, aussi augmente en fonction d'un système de signalisation de l'oxide nitrique et l'acide méthyle jasmonique mis sous stress.

Au cours des dernières années, **Lemcoff et al., (2002)** ont suggéré qu'une augmentation de l'élasticité de la paroi cellulaire, qui est largement établi par des parois cellulaires épaisses et rigides dans les racines d'*Eucalyptus camaldulensis*, est impliquée dans la résistance à la sécheresse en maintenant l'absorption d'eau. **Jones et al., (2006)** ont rapporté que la production de callose dans les racines de *Zea mays* L. augmente en réponse au stress. **Vollenweider et al., (2006)** ont déterminé dans leur étude que les parois cellulaires se trouvent épaissies en réponse au stress « Cd ». Aussi **Aktaç et al., (2007)** ont observé un épaississement des parois cellulaires de la racine d'*Allium cepa* L. traitée par le pesticide Raxil en réponse au stress causé par des pesticides à des concentrations plus élevées.

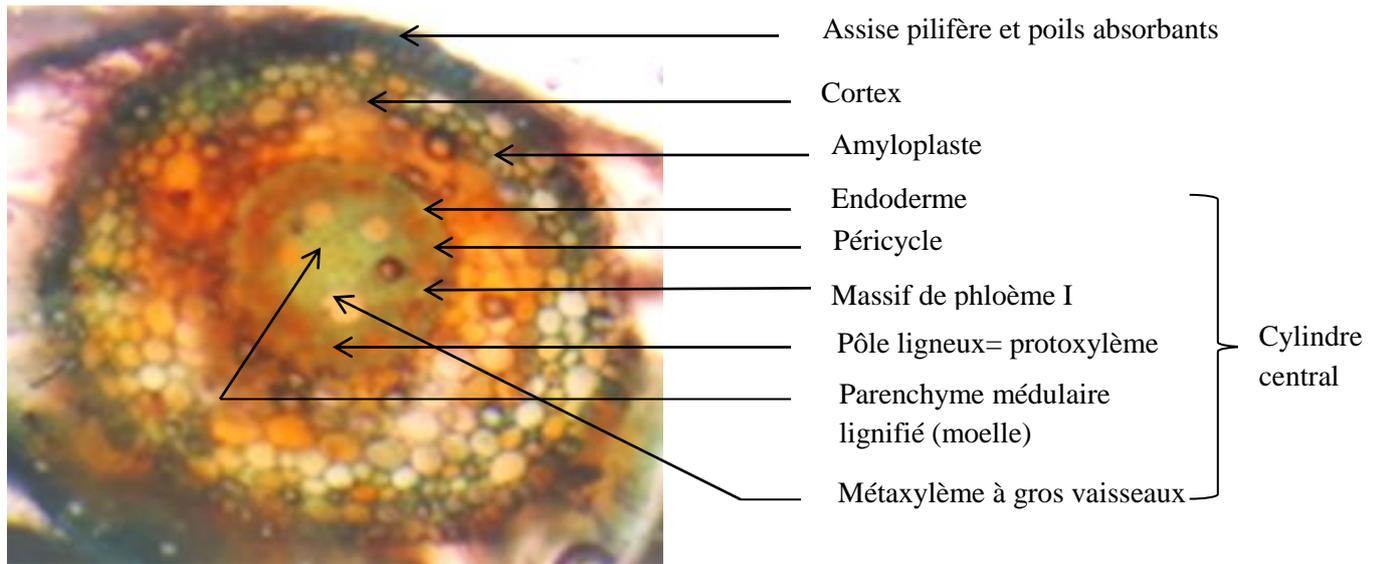


Figure 36. Coupe anatomique représentant la structure primaire de la racine de *Triticum durum*, variété «Waha témoin».

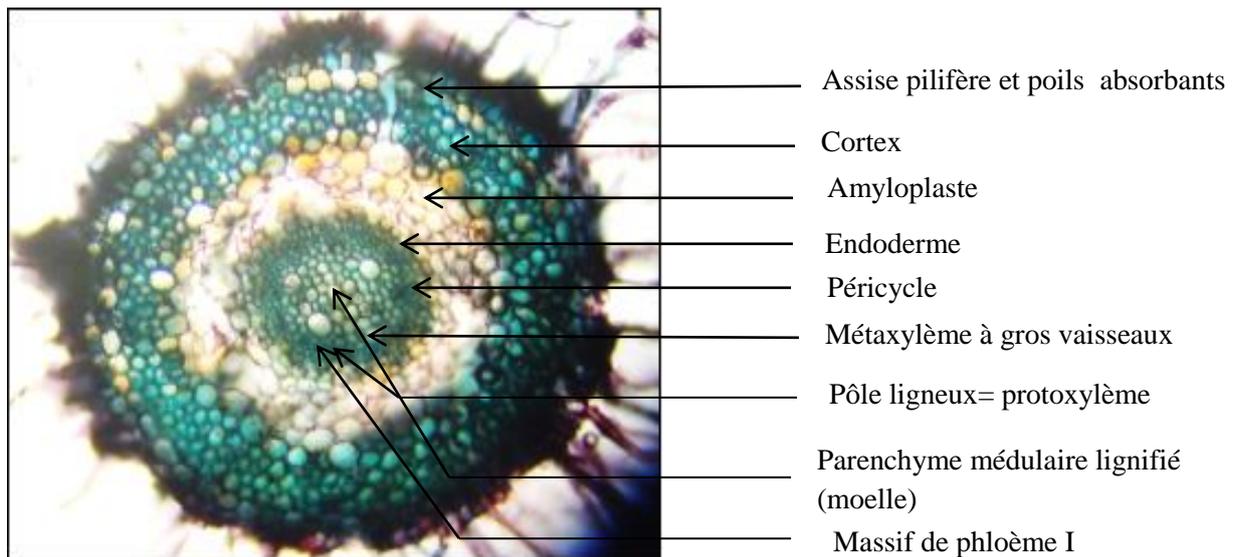
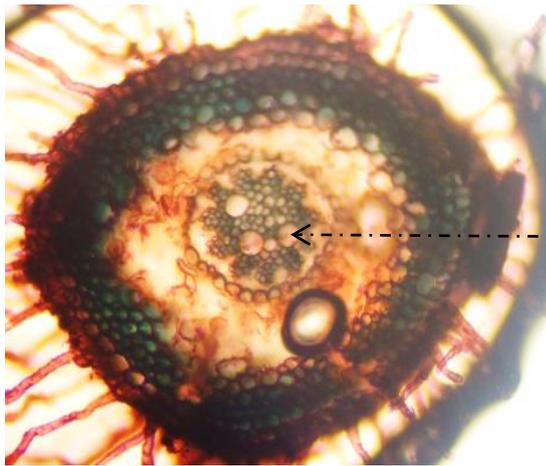
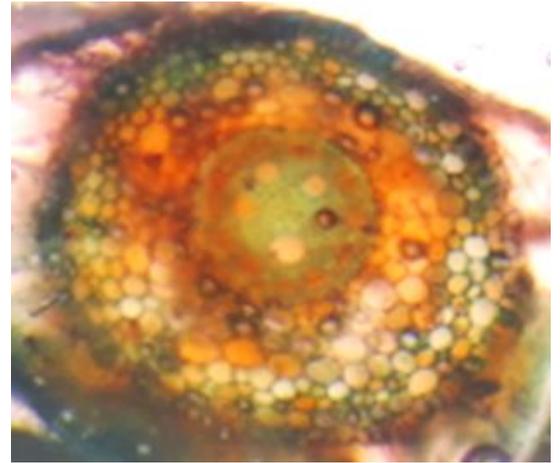


Figure 37. Coupe anatomique représentant la structure primaire de la racine de *Triticum aestivum*, variété «HD témoin».



b

Diminution du nombre des vaisseaux du métaxylème



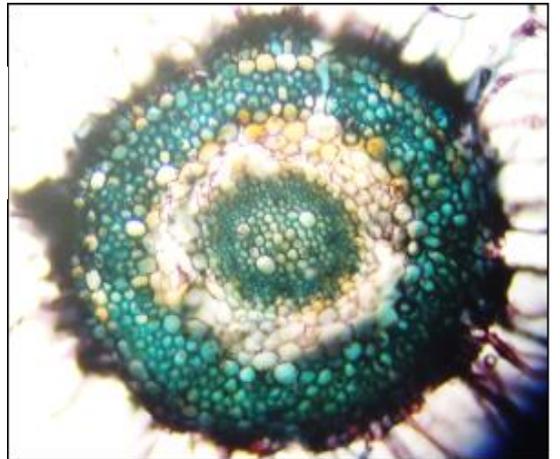
a

Triticum durum variété «Waha»



b

Rétrécissement du cortex

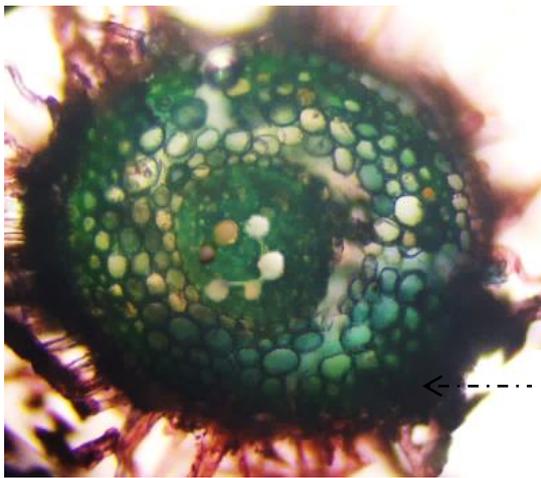


a

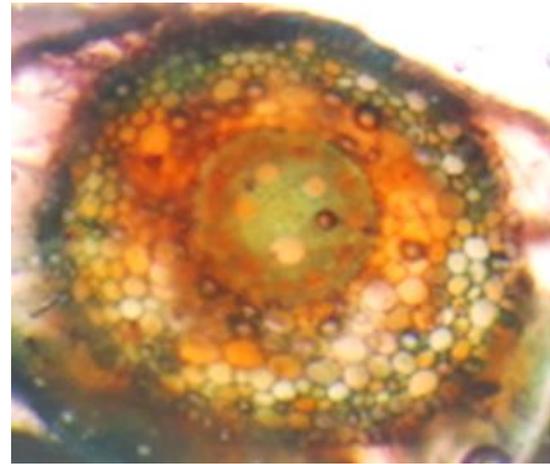
Triticum aestivum variété « HD »

Figure 38. Anatomie comparée de la racine des deux espèces de blé (X125)

(a : Plante témoin, b : Plante exposée à l'herbicide Sekator)



← Épaississement de l'assise pilifère



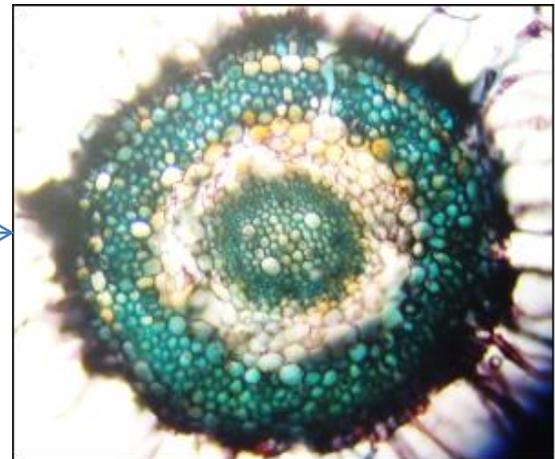
b

Triticum durum variété «Waha»

a



← Absence d'effet cytotoxique →



b

Triticum aestivum variété « HD »

a

**Figure 39. Anatomie comparée de la racine des deux espèces de blé (X125)
(a : Plante témoin, b : Plante exposée à l'herbicide Zoom)**

E. Effets des herbicides sur les paramètres pédologiques du sol

Après l'analyse physicochimique du sol, nous avons présenté nos résultats dans le tableau ci-dessous.

Tableau 46. Résultats des différents paramètres physicochimiques étudiés sur trois échantillons du sol.

Paramètres mesurés	sol témoin	sol+Sekator	sol+Zoom
pH	8,32	8,39	8,13
Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	254	157,67	133,13
Texture	argilo limoneux	argilo limoneux	limono sableux
Taux de la matière organique %	1,85	0,6	2,17
Teneur en Na (ppm)	2,31	4,15	4,14
Teneur en K (ppm)	52,39	28,20	11,29
Teneur en P (ppm)	6,67	6,49	7,37

D'après le tableau 46, on n'observe que les trois échantillons du sol se caractérisent par un pH alcalin et une conductivité inférieure à 0,6 mmhos/cm (sols non salés) et que ces sols sont pauvres en phosphates. Avec une texture qui diffère entre argilo limoneux pour les deux échantillons des sols témoin et exposés à l'herbicide Sekator, aussi une texture limono sableux pour le troisième échantillon du sol exposée à l'herbicide Zoom.

pH du sol

Les paramètres statistiques, du pH du sol, sont représentés sur le tableau 47.

Tableau 47. Paramètres statistiques de base calculés sur le pH du sol (témoin et traités).

Nature du sol	n	x	SD
Témoin	3	8.316	0.102
Traité avec Sekator	3	8.393	0.032
Traité avec Zoom	3	8.130	0.026

La figure 40, montre la variation des valeurs du pH du substrat des plants de blé soumis sous différents traitements herbicides: Sekator et Zoom. Les résultats obtenus révèlent que le pH du substrat témoin, varie de 8.20 à 8.39 et que celui du sol désherbé avec le Sekator varie de 8.37 à 8.43, alors que celui qui est désherbé avec le Zoom varie de 8.10 à 8.15. Ceci fait que le substrat de ce dernier type de sol est nettement moins basique que celui de deux autres sols. L'analyse statistique (Tableau 48) et le test Dunett (Annexe 4) confirme ces résultats par une différence hautement significative.

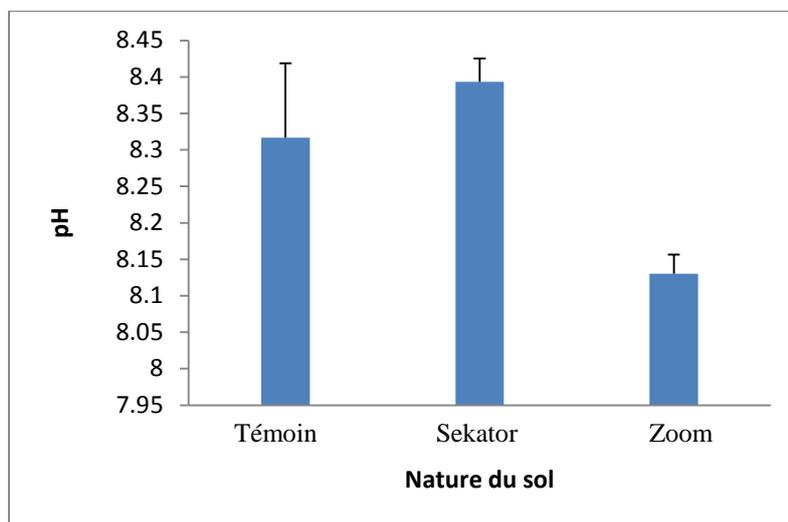


Figure 40. La variation du pH du sol en fonction du traitement herbicide (Sekator et Zoom).

Tableau 48. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison de pH du sol obtenus, entre doses, pour chacun des deux herbicides appliqués (Sekator et Zoom).

Source de variation	ddl	SC	CM	F	P
Traitement	2	0.11007	0.05503	13.57	0.006**
Erreur	6	0.02433	0.00406		
Total	8	0.13440			

Il est aussi à noter que le paramètre pH du sol présente des corrélations négatives avec le P et la MO (Annexe 2).

Conductivité Électrique (C.E.)

Les paramètres statistiques calculés par nature du sol, sur la C.E sont représentés sur le tableau 49.

Tableau 49. Paramètres statistiques de base calculés sur le C.E du sol (témoin et traités).

Nature du sol	n	x	SD
Témoin	3	254.00	33.00
Traité avec Sekator	3	157.67	09.63
Traité avec Zoom	3	133.13	57.99

La figure 41, affiche la variation des valeurs de la C.E. en fonction de deux traitements appliqués au niveau du sol par les herbicides Sekator et Zoom. Les résultats montrent, que la C.E diminue avec les doses appliquées, des herbicides, en plein champ. L'analyse statistique corrobore ces résultats, par une différence significative, mise en évidence dans le tableau 50. La matrice de corrélation (Annexe 2) affiche une corrélation négative et significative (-0.692) entre la CE et la teneur du sol en Na. La matrice de corrélation affiche aussi une corrélation positive hautement significative (0.849) entre la C.E et la teneur du sol en potassium. Nous avons aussi observé, que la dose 0 (Témoin sans traitement) correspondait à des valeurs C.E supérieurs à celles obtenues avec 150 ml/h de Sekator et 120 g/h de Zoom.

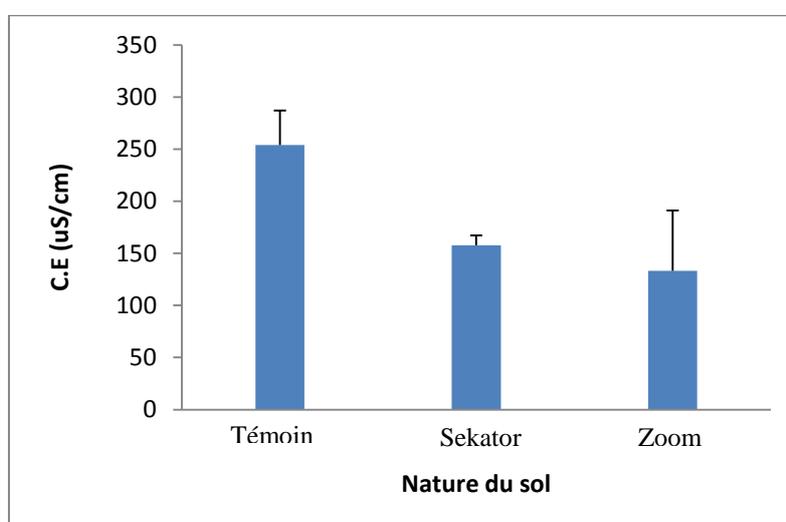


Figure 41. La variation de C.E du sol en fonction du traitement herbicide (Sekator et Zoom).

Tableau 50. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison de C.E du sol obtenus, entre doses, pour chacun des deux herbicides appliqués (Sekator et Zoom).

Source de variation	ddl	SC	CM	F	P
Traitement	2	24491	12245	8.08	0.020*
Erreur	6	9089	1515		
Total	8	33580			

Teneur du sol en Na

Les paramètres statistiques calculés par nature du sol, sur la teneur du sol en Na, sont représentés sur le tableau 51.

Tableau 51. Paramètres statistiques de base calculés sur la teneur en Na du sol (témoin et traités).

Nature du sol	n	x	SD
Témoin	3	2.310	0.770
Traité avec Sekator	3	4.153	1.075
Traité avec Zoom	3	4.140	1.060

Les résultats affichés sur la figure 42, représentent la variation de la teneur du sol en sodium, en fonction du traitement avec les herbicides Sekator et Zoom. Ces résultats montrent clairement que les teneurs du substrat en Na, augmentent avec l'utilisation des herbicides (de 2,69 fois plus élevé que celui enregistré avec le sol témoin). Néanmoins, cette augmentation s'est caractérisée par le même niveau, avec les deux doses des deux herbicides. Il est aussi à souligner que les trois échantillons des sols étudiées sont chargés uniformément par le Na, ce qui est confirmé statistiquement par une différence non significative (Tableau 52). Nous avons aussi remarqué que la variation des taux de Na du substrat ne correspondait pas parfaitement avec la variation de la C.E (la corrélation entre la C.E et le Na du sol est de l'ordre de -0.692 et ce malgré la forte relation qui les relie. Ceci nous permet d'avancer l'implication de bien d'autres électrolytes dans la détermination de la C.E, et ce en plus du sodium.

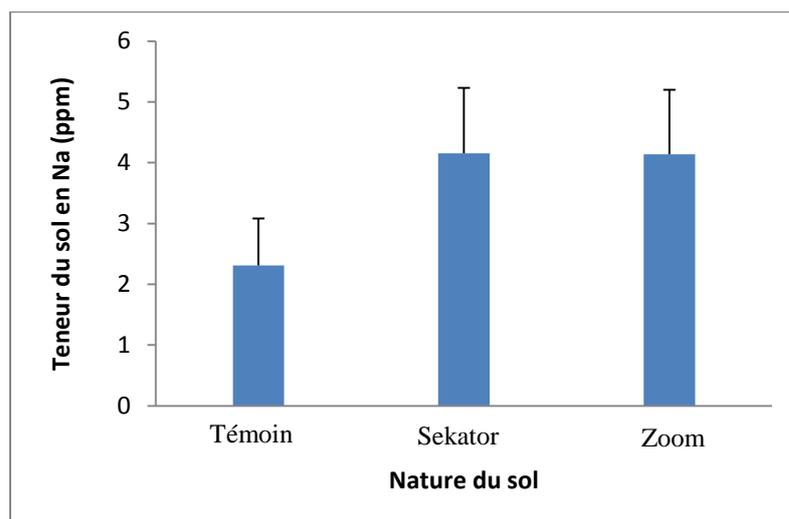


Figure 42. La variation de la teneur du sol en sodium en fonction du traitement herbicide (Sekator et Zoom).

Tableau 52. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison de la teneur du sol en Na obtenus, entre doses, pour chacun des deux herbicides appliqués (Sekator et Zoom).

Source de variation	ddl	SC	CM	F	P
Traitement	2	6.747	3.373	3.52	0.097 NS
Erreur	6	5.744	0.957		
Total	8	12.491			

Teneur du sol en K

Les paramètres statistiques calculés par nature du sol, sur la teneur du sol en K, sont représentés sur le tableau 53.

Tableau 53. Paramètres statistiques de base calculés sur la teneur en K du sol (témoin et traités).

Nature du sol	n	x	SD
Témoin	3	52.390	3.004
Traité avec Sekator	3	28.203	1.365
Traité avec Zoom	3	11.290	1.247

La figure 43, affiche la variation de la teneur du sol en K, sous différents traitements (Sekator et Zoom). Les teneurs en K enregistrées sur les 3 échantillons étudiés renferment des taux en K différents, où le sol exposé à l'herbicide Zoom contient la plus faible proportion en K (11,29 ppm), alors que le témoin contient la plus forte proportion (52,39 ppm) et qui est absolument de l'ordre de 4,64 fois plus élevé par rapport à la précédente. Cependant, le sol exposé à l'herbicide Sekator, la teneur en K prend la position médiane (28,20 ppm).

L'analyse statistique confirme ces résultats par une diminution très hautement significative de la teneur du sol en K (Tableau 54).

Néanmoins, on arrive à noter de façon globale, que les teneurs en K du sol paraissent élevées dans les conditions naturelles, puis elles deviennent réduites sous l'application des différents traitements herbicides (Sekator et Zoom).

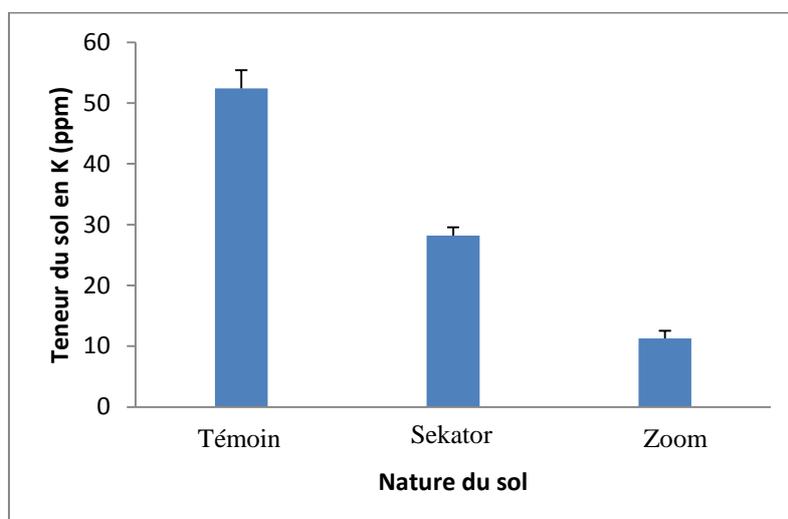


Figure 43. La variation de la teneur du sol en potassium en fonction du traitement herbicide (Sekator et Zoom).

Tableau 54. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison de la teneur du sol en K obtenus, entre doses, pour chacun des deux herbicides appliqués (Sekator et Zoom).

Source de variation	ddl	SC	CM	F	P
Traitement	2	2560.27	1280.13	308.64	0,000***
Erreur	6	24.89	4.15		
Total	8	2585.15			

D'autre part, la matrice de corrélation, nous permet d'estimer les corrélations existantes entre les différents paramètres mesurés avec le K du sol. En effet le C.E du sol affiche une corrélation positive avec le K du sol (0.849). Cependant, le K, le Na et le P présentent des corrélations significatives respectives de l'ordre de -0.703 et de -0.684.

Teneur du sol en P

Les paramètres statistiques calculés par nature du sol, sur la teneur du sol en P, sont représentés sur le tableau 55.

Tableau 55. Paramètres statistiques de base calculés sur la teneur en P du sol (témoin et traités).

Nature du sol	n	x	SD
Témoin	3	6.670	0.034
Traité avec Sekator	3	6.493	0.015
Traité avec Zoom	3	7.370	0.034

La figure 44, expose les résultats de la teneur en phosphore des 3 échantillons des sols soumis à des traitements différents en herbicides. Les résultats montrent que la teneur en P est très variable. Le dosage du P montre que le sol exposé à l'herbicide Zoom, semble être plus riche en P (7,37 ppm) par rapport aux deux autres échantillons de sol. L'analyse de la variance confirme cette constatation par une différence très hautement significative pour le facteur traitement (Tableau 56). Cette dernière augmentation peut être argumentée de 2 façons : soit que cela due à une fixation du P du sol qui s'est traduit par une baisse dans sa teneur en solution du sol, soit que c'est due à une diminution dans son absorption racinaire à cause du stress limitant les activités physiologique dont la nutrition minérale, voire même menant à la perte de la plante entière (**Maalem, 2012**).

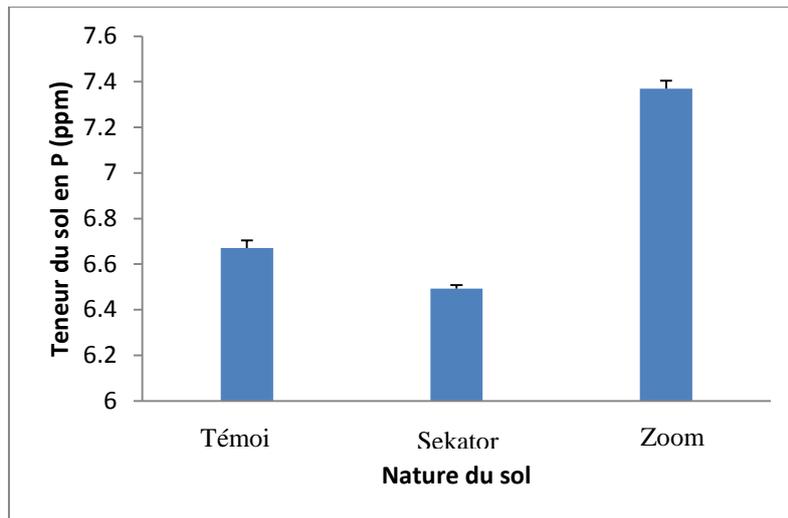


Figure 44. La variation de la teneur du sol en phosphore assimilable en fonction du traitement herbicide (Sekator et Zoom).

Tableau 56. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison de la teneur du sol en P obtenus, entre doses, pour chacun des deux herbicides appliqués (Sekator et Zoom).

Source de variation	ddl	SC	CM	F	P
Traitement	2	1,289756	0,644878	734,67	0,000***
Erreur	6	0,005267	0,000878		
Total	8	1,295022			

Taux de la matière organique (MO)

Les paramètres statistiques calculés par nature du sol, sur le taux de la matière organique, sont représentés sur le tableau 57.

Tableau 57. Paramètres statistiques de base calculés sur le taux de la matière organique du sol (témoin et traités).

Nature du sol	n	x	SD
Témoin	3	1.853	0.456
Traité avec Sekator	3	1.270	0.320
Traité avec Zoom	3	2.166	0.191

La figure 45, affiche la variation des valeurs du taux de la matière organique en fonction des deux traitements herbicides appliqués au niveau du sol: Sekator et Zoom. Les résultats montrent, que le taux de la matière organique augmente avec la dose au plein champ de l'herbicide Zoom, mais elle n'évolue que très peu avec la même dose de l'herbicide Sekator. Nous avons aussi observé, que la dose 0 (Témoin) correspondait à des valeurs de la MO supérieures à celles obtenues avec la dose 150 ml/ha de Sekator. L'analyse statistique corrobore ces résultats car une différence significative a été mise en évidence (Tableau 58).

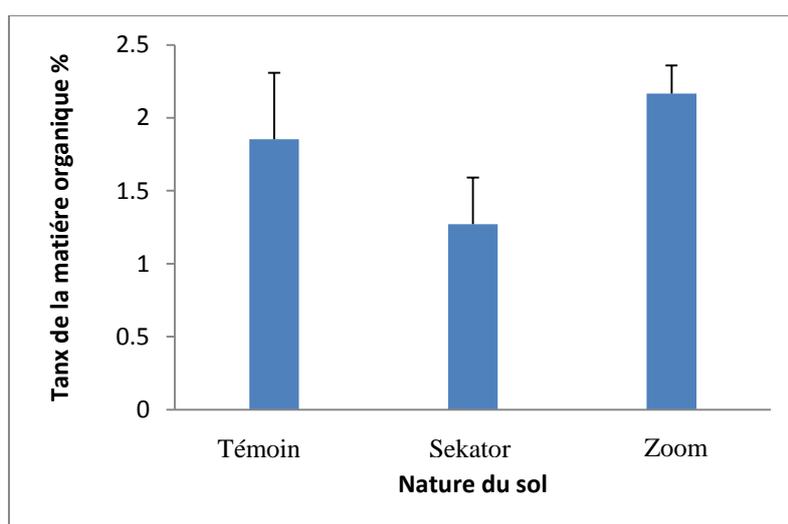


Figure 45. La variation du taux de la matière organique en fonction du traitement herbicides (Sekator et Zoom).

Tableau 58. Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison du taux de la matière organique dans le sol obtenus, entre doses, pour chacun des deux herbicides appliqués (Sekator et Zoom).

Source de variation	ddl	SC	CM	F	P
Traitement	2	1.242	0.621	5.37	0.046*
Erreur	6	0.694	0.116		
Total	8	1.937			

Discussion

Les échantillons analysés sont moyennement pauvres à moyennement riches en matières organiques. L'enrichissement en matières organiques peut être attribué à la décomposition des résidus racinaires et foliaires et des mauvaises herbes éventuelles. La richesse en composants organiques favorise la sulfato-réduction (**Prade et al., 1990**) et entrave la formation de complexes non solubles et potentiellement toxiques (**Hamdaoui, 1996**), composés toxiques qui empêchent la prolifération des espèces pathogènes elles-mêmes en concurrence avec d'autres microorganismes saprophytes. Aussi l'augmentation de la teneur du sol en phosphore assimilable se traduit par la libération par les racines d'ions H^+ , qui dissout les phosphates naturelles en les rendant assimilables pour la plante et dans le cas où le phosphore n'est pas prélevé par les racines il réagit avec les divers constituant du sol et se retrouve donc adsorbé (**Hinsinger, 2001**).

La matière organique désigne différents types de composés carbonés et azotés. Elle est principalement issue de l'activité biologique des végétaux et des animaux et de leurs produits de décomposition, mais peut également avoir une origine anthropique : composts, boues, pesticides, hydrocarbures. Elle se compose de deux fractions :

La fraction vivante (micro-organismes, faune épilithique, rhizosphère des végétaux supérieurs, animaux fouisseurs). Son influence sur la fixation des éléments trace est importante, et elle participe largement aux modifications de certains facteurs pédologiques comme le potentiel redox ou le pH (**Kabata-Pendias et Pendias, 2001**).

La fraction morte (débris végétaux et animaux plus ou moins décomposés en humus, carbone rapporté) est représentée par diverses molécules plus complexes et moins bien définies, de masses moléculaires très différentes. Ainsi, on retrouve les cires, les lipides, les protéines, les peptides, les acides organiques, les acides aminés ou encore les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (**Kabata-Pendias et Pendias, 2001**). Ces composés s'associent entre eux pour former les substances humiques (humine, acides humiques, acides fulviques) piégeant différents éléments.

Les herbicides sulfonyles metsulfuron et, dans une moindre mesure, chlorsulfuron, sont à l'origine d'une réduction de la croissance des bactéries de sol *pseudomonas* (**Boldt et Jacobsen, 2006**). En tests de laboratoire, une combinaison de deux herbicides sulfonyles, bensulfuronmethyl (B) et metsulfuron-methyl, ont causé une réduction considérable de la biomasse microbienne de sol sur les 15 premiers jours (**El-Ghamry et al., 2001**). Dans les communautés bactériennes de sol, le bromoxynile (un herbicide au nitrile) a provoqué des

changements majeurs dans la composition et la diversité des espèces. Le bromoxynile a inhibé la croissance des bactéries capables de dégrader les produits chimiques dans le sol (**Baxter et al., 2008**). Le captane (fongicide) et l'herbicide glyphosate ont également causé un changement parmi les espèces des communautés bactériennes du sol (**Widenfalk et al., 2008**). Certains insecticides organophosphorés (le diméthoate par exemple) peuvent réduire l'activité et la biomasse des micro-organismes du sol, tandis que d'autres, comme le fosphiazate peuvent en fait conduire à une augmentation de la biomasse microbienne (**Eisenhauer et al., 2009**). La façon dont les pesticides affectent la fertilité du sol sur le long-terme n'est pas très bien comprise, cela dépendant de nombreux facteurs.

Un enrichissement du sol en matières organiques augmente la contribution du phosphore organique à la dynamique du phosphore (**Parent et Khiari, 2003**). L'humus présente des sites de faible énergie de liaison pour le phosphore rendant sa mise en disponibilité plus facile (**Delgado et al., 2002; Johnson, 2000**). De ce fait, la matière organique du sol ou l'humus joue un rôle crucial dans la disponibilité du phosphore pour les plantes cultivées. La diminution de la quantité de phosphore assimilable est probablement due à l'immobilisation du phosphore en réaction avec les ions Ca^{2+} devant une irrigation non drainante provoque le transfert du phosphore vers des formes non assimilables (**Adil, 2012**).

La corrélation positive entre adsorption d'anions orthophosphates et taux de matière organique s'explique principalement par l'inhibition de la cristallisation des oxydes par la matière organique (**Cornell et Schwertmann, 1979 ; Singer et Huang, 1990 ; Gerke et Hermann, 1992; Vo Dinh Quang et al., 1996**). Cette dernière favoriserait de fortes proportions en composés amorphes du fer et de l'aluminium dans les sols, nettement plus réactifs que les formes cristallisées. Une seconde raison de la corrélation positive peut être l'adsorption d'anions orthophosphates sur des groupements amine protonés pour des pH élevés (**Uehara et Gillman, 1981 ; Stevenson, 1982**). **Lopez-Hernandez et Burnham (1974)** expliquent pour leur part la relation positive entre adsorption du phosphore et matière organique par la présence d'aluminium et de fer associés à la matière organique, plus réactifs que les mêmes éléments dans un environnement inorganique. **Fox (1969)** a enfin suggéré que les anions orthophosphates pourraient être directement adsorbés sur la matière organique sous forme d'inositol hexaphosphate, bien que de nombreux auteurs estiment qu'une adsorption directe soit improbable (**Williams et al., 1958 ; Saunders, 1965**).

La matière organique et les microorganismes du sol jouent un rôle majeur dans la dissolution du phosphore précipité en produisant des acides qui peuvent modifier le pH du milieu et rendant par conséquent le phosphore plus disponible pour le végétal. Il est connu

que l'adsorption du phosphore diminue avec l'augmentation du pH pour des oxydes ou des minéraux argileux purs (**Muljadi et al., 1966 ; Hingston et al., 1972**). Des travaux ont montré que pour des sols de compositions minéralogiques peu différentes mais différenciés par leur pH, il se trouve alors, une augmentation de l'adsorption avec la diminution du pH (**Lopez-Hernandez et Burnham, 1974 ; Parfitt, 1977 ; Friesen et al., 1980 ; Eze et Loganathan, 1990**).

La corrélation négative entre pH et adsorption du phosphore est due à la diminution de la charge positive des surfaces hydroxylées avec l'augmentation du pH. Les anions orthophosphates possèdent en effet une très grande affinité pour les sites aqueux $-OH^{2+}$ (**Shang et al., 1992**). Certains auteurs attribuent par contre la plus faible adsorption à fort pH à l'augmentation des ions hydroxyl en solution qui rentreraient en compétition avec les anions orthophosphates pour les sites de fixation (**Eze et Loganathan, 1990 ; Adepoju, 1993**). Enfin, **White et Taylor (1977)** pensent que cette observation résulte de l'augmentation de la solubilisation des formations phosphore aluminium amorphe. **Snyder et Staton (2002)** montrèrent qu'après l'irrigation d'un sol à pH basique et riche en Ca^{2+} , la plupart du phosphore se transforme en phosphates calciques insolubles, ce qui diminue la biodisponibilité de cet élément.

Dans tous les traitements, les quantités du potassium échangeable diminuent au fur et à mesure. D'après **Cengiz et al., (2001)** sous stress salin, le potassium du milieu extérieur est fortement mobilisé vers la plante. Ceci pourra expliquer la réduction des taux de K du sol sous les niveaux élevés de NaCl. **Maalem (2012)** trouve aussi que le K du sol diminue sensiblement, témoignant sur sa translocation probable vers la plante, vu qu'il se trouve en phase de de stress salin. Le potassium est aussi perçu comme un élément de résistance des plantes au gel, à la sécheresse et aux maladies. Il est essentiel pour le transfert des assimilats vers les organes de réserve et il participe activement à améliorer la qualité de la fibre ainsi que la taille des graines (**Projet Intrants/FAO, 2005**).

En effet les cations ne sont pas tous retenus avec une force égale par le sol. En général, les cations ayant une charge positive croissante et de plus petits rayons moléculaires sont retenus avec une plus grande force d'attraction. Etant monovalent, le potassium est plus hydraté ; un apport d'engrais au sol provoque un déséquilibre ionique dans celui-ci. Pour atteindre son équilibre, le potassium est déplacé du complexe adsorbant vers la solution du sol ce qui pourrait expliquer et justifier les quantités du potassium échangeables en fonction du temps (**Adil, 2012**).

Avec une conductivité électrique inférieure à 4 dS/m, les sols analysés appartiennent à la catégorie des sols non salés. Il y a probablement d'autres facteurs impliqués dans cette diminution de la salinité dont la réduction des bases échangeables par le complexe adsorbant vers la solution du sol concernant essentiellement les cations les plus hydratés Na^+ et K^+ .

Conclusion Générale et Perspectives

L'adaptation des végétaux aux conditions contraignantes de leur environnement, nécessite des modifications morphologiques, métaboliques et moléculaires. Ces changements doivent aider à la fois à minimiser les effets nocifs de stress et permettre à la plante de survivre. Dans cette recherche, nous avons procédé à une évaluation comparée de la toxicité des xénobiotiques au plein champ sur des cultures céréalières : *Triticum durum* et *Triticum aestivum* au cours de la campagne 2012/2013/2014 de la région de Tébessa. Le choix de l'herbicide en question a porté sur le Sekator et le Zoom. Ces deux herbicides font partie de la famille des sulfonylurées et de l'acide benzoïque, fréquemment utilisé par les agriculteurs en Algérie.

D'après nos résultats, le stress causé par la présence des herbicides sur champ de culture des deux variétés de blé dur et de blé tendre, engendre des désordres relatifs à la croissance. Ces altérations se manifestent, à l'échelle de la plante entière, par une réduction du poids moyen de la graine, du nombre d'épis/ m² aussi par le rendement chez la variété HD. Nous avons donc pu observer une augmentation du nombre d'épis/ m², du nombre de grains / épi, du poids moyen de la graine, de la hauteur des plants, de la surface foliaire et du rendement quantique chez la variété Waha exposée à l'herbicide Zoom. D'autre part, la résistance morphologique de cette variété exposée à l'herbicide Sekator a été signalée.

La pulvérisation foliaire de l'herbicide Sekator n'affecte que peu ou pas le métabolisme des plants de blé dur et de blé tendre étudiés. En effet, cet herbicide va permettre de réduire certaines perturbations foliaires engendrées chez le blé tendre: maintien, voire diminution des pigments photosynthétiques, réduction totale ou partielle de la production des sucres solubles, de l'activité CAT et GPX. L'absorption du Sekator par les feuilles, induit un stress oxydatif révélé par une augmentation de l'activité de l'enzyme anti-oxydante APX, impliquée dans l'élimination de H₂O₂.

L'adaptation physiologique, engendrée par l'application de Sekator, est retrouvée au niveau des pigments photosynthétiques chez la variété Waha. En effet, l'exposition de cette variété à l'herbicide Sekator, permet de préserver leur teneur en chlorophylle *a*, *b* et en chl (*a+b*). Ce maintien de la teneur en pigments, découle vraisemblablement de l'exclusion partielle de l'herbicide, on sait en effet que le Sekator inhibe la biosynthèse de la chlorophylle

et/ou active la chlorophyllase. En revanche, l'abaissement de la teneur en phénols totaux, en flavonoïdes et en activité APX des feuilles est aussi observée. En dernier lieu, on démontre dans ce travail, le rôle antiradicalaire de nos polyphénols issus des extraits céréaliers contre le DPPH qui est un radical stable représentant les radicaux libres existant dans les cellules animales.

Les plants étudiés ont présentés une anatomie typique des monocotylédones. Sous stress abiotique, des signes d'adaptation histologiques ont apparus après une exposition à l'herbicide Sekator, tels que une diminution du nombre des vaisseaux du métaxylème de la racine chez la variété Waha. Un rétrécissement du cortex a marqué aussi la variété HD. Toutefois, au niveau des racines de la variété Waha, l'herbicide Zoom a provoqué un épaissement de l'assise pilifère.

En raison de sa position d'interface dans l'environnement entre l'atmosphère et les eaux souterraines, le sol joue un rôle déterminant dans le devenir des herbicides. En effet, la persistance d'un herbicide dans un sol est une donnée essentielle pour évaluer ses possibilités de transfert par l'eau et vers les sources d'eau adjacentes. Ainsi, l'objectif principal de ce travail a été d'étudier la rétention d'un herbicide, par des sols agricoles algériens, ainsi que l'influence des caractéristiques physico-chimiques du sol et de la matière organique.

Au niveau du sol, la pollution avec l'herbicide Sekator, n'a pas affiché d'effets notables sur le taux du Na, mais par contre, elle a eu tendance à augmenter le pH et à diminuer la conductivité électrique, le taux du potassium, du phosphore et de la matière organique. De son côté, le traitement des adventices par l'herbicide Zoom a été derrière une diminution de la C.E et du taux du K et a aussi permis un accroissement du taux du P et, de la MO, sans avoir d'effet significatif sur le pH du sol.

Quatre mécanismes biologiques différenciés de résistance aux herbicides, ou de façon plus générale à des biocides (tels que pesticides, antifongiques, antibiotiques), ont été mis à jour. Ce sont (ordre non significatif):

- la modification de la cible de la molécule herbicide, le principe d'action de l'herbicide reposant, le plus souvent sur l'inhibition d'une activité enzymatique vitale pour la plante
- la surexpression de cette même cible, qui a pour effet, d'abaisser la concentration du toxique, par nombre de cibles, donc de réaliser une "dilution artificielle" du toxique.
- la dégradation de la molécule toxique (détoxication), qui repose sur une transformation métabolique du biocide, conduisant à son inactivation.

- l'altération de la translocation du toxique, par exemple par séquestration ou imperméabilisation des cuticules, qui a pour conséquence d'empêcher la mise en contact du biocide et de sa cible moléculaire. Ces quatre modes ne sont pas exclusifs l'un de l'autre et peuvent coexister au sein du même organisme vivant.

En perspectives, dans le cadre d'un travail futur, il serait souhaitable de:

- Appliquer cette étude sur plusieurs stades de cycle de vie.
- Suivre le cheminement de la molécule toxique à l'échelle cellulaire et donc localiser les ROS mitochondriaux, cytoplasmiques...
- Effectuer le dosage des autres enzymes impliquées dans la métabolisation / détoxification et particulièrement : SOD.
- Utiliser plusieurs variétés.
- Tester la toxicité du Sekator et de Zoom sur d'autres modèles biologiques.
- Compléter le travail par des études de biologie moléculaire pour identifier les gènes responsables de résistance et de sensibilité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Abbassenne, F., 1997. Etude génétique de la durée des phases de développement et leur influence sur le rendement et ses composantes chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire magister, INA Alger. 81p.

Adepoju, A.Y., 1993. Evaluation of P-sorption capacity of forest and savanna soils of Nigeria. *Trop. Agric* 70: 127- 130.

Adil, M., 2012. Dynamique du phosphore dans le système sol-plante en conditions pédoclimatiques sahariennes. Mémoire de magister. Université Kasdi Merbah. Ouargla.

Agra-Ost., 2006. Evaluation du potentiel de la filière agricole de biométhanisation. St-Vith: s.n., p. 69.

Ahmad, I. and Hellebust, J.A., 1988. The relationship between inorganic nitrogen metabolism and proline accumulation in osmoregulatory responses of two euryhaline microalgae. *Plant Physiol* 88(2): 348–354.

Aktaç, T., Yılmaz, G., Dane, F. and Bakar, E., 2007. Demonstration of the effects of Raxil (tebuconazole) on the cell wall (glycocalix) of the root tip cells in onion (*Allium cepa* L.) using Alcian blue. *Fresenius Environmental Bulletin* 16: 817–820.

Alayat, A., 2015. Etude de l'impact toxicologique de certains agents chimiques sur la qualité des céréales : cas du blé et du l'orge. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba. 266 p.

Allen, M. and Smjth, M., 1969. Nitrogen chlorosis 10 blue-green algae. *Archives of Microbiology* 63: 114-120.

Almagro, L., Ros, L. V. G., Belchi-Navarro, S., Bru, R., Barcelo, A. R. and Pedreno, M. A., 2009. Class III peroxydases in plant defence reactions. *Journal of Experimental Botany* 60: 377-390.

Ames, B.N., Shigensaga, T.M. and Hagen, T.M., 1993. Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of aging. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 90: 7915-7922.

Annichiarico, P., Abdellaoui, Z., Melouki, M. and Zerargui, H., 2005. Grain yield, straw yield and economic values of tall semi dwarf durum wheat cultivars in Algeria. *J. Agric. Sci* 143: 54-64.

Aoun, M., 2009. Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne (*Brassica juncea* (L.) Czern) néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Thèse de doctorat. L'université de Bretagne occidentale.

Araus, J. L., Amaro, T., Voltas, J., Makhlouf, H. and Nachit, M. M., 1998. Chlorophyll florescence as selection criteria for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crop Research* 55: 209-223.

Ashraf, M. and Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot* 59(2): 206–216.

Aubertot, J. N., Barbier, J. M., Carpentier, A., Gril, J. J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I. et Voltz M., 2005. Pesticides, agriculture et environnement, Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref (France).

Aykroyd, W. R. et Doughty, J., 1970. Le blé dans l'alimentation humaine. Ed. FAO. Rome. 185p.

Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. and Hassous, K. L., 2005. Selection of highyielding and risk efficient Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi arid conditions. *Pak. J. Agro* 4: 360-365.

Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. et Hassous, K. L., 2006. Etude des liaisons entre le rendement, la durée de vie de la feuille étendard, la vitesse de remplissage et la remobilisation des assimilats de la tige de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. *Annales de L'INRA. El-Harrach.* 27: 15-33.

Bajji, M., 1999. Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés in vitro. Thèse de doctorat. Université Louvain.

Baldy, C., 1973. Sur l'énergie active en photosynthèse. Son utilisation par les graminées au cours de leur développement. *Ann. Agron* 24 (1): 1-13.

Barbash, J. E. and Resek E. A., 1996. Pesticides in ground water. Distribution, trends, and governing factors. In: *Pesticides in the Hydrologic System Vol. II.* Ed. R. J. Gilliom, Ann Arbor Press Inc. Chelsea, Michigan.

Bartels, D. and Sunkar, R., 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci* 24(1): 23–58.

Baxter, J. and Cummings, S. P., 2008. The degradation of the herbicide bromoxynil and its impact on bacterial diversity in a top soil. *Journal of Applied Microbiology* 104(6): 1605-1616.

Beckert, M., Dessaux, Y., Charlier, C., Darmency, H., Richard, C. et Savini, I., 2011. Les variétés végétales tolérantes aux herbicides. Effets agronomiques, environnementaux, socio-économiques. Expertise scientifique collective, rapport, CNRS-INRA (France). 430p.

Behra, R., Genoni, G. P. and Joseph, A. L., 1999. Effects of atrazine on growth, photosynthesis, and between-strain variability in *Scenedesmus subspicatus* (Chlorophyceae). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 37: 36-41.

Belahcene, N., Mouaïssia, W., Zenati, N. et Djebbar, M.R., 2015. Étude de l'effet d'un stress oxydatif cause par un herbicide systemique Cossack sur le blé dur (*Triticum durum* Desf). *International Journal of Innovation and Scientific Research* 14:104-111.

- Belaid, D.**, 1990. Eléments de phytotechnie générale Ed. O.P.U, Alger. PP154-157.
- Belkharouché, H., Fellah, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. et Chellal, N.**, 2009. Vigueur de croissance, translocation et rendement en grains du blé dur (*Triticum durum* Desf) sous conditions semi arides. *Courrier du Savoir* 09: 17-24.
- Belkhodja, M.**, 2000. Proline response of *faba* bean (*Vicia faba* L.) under salt stress. *Egypt J. of Agric. Res* 78 (1): 185-195.
- Bellinger, Y., Bensaoud, A. and 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 3-6, 1989. Montpellier. France. 449-458 p.
- Benbelkacem, A., Mekhni, M. S. and Rasmuson, D. C.**, 1984. Breeding for high tiller number and yield in barley. *Crop. Sci* 24: 968-972.
- Bengston, C., Klockare, B., Klockare, R., Larsson, S. and 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 Physiol* 43: 205-212.
- Benmahdi, F.**, 2008. Etude de la rétention d'un herbicide dans un sol agricole. Mémoire magister. Université du Colonel Hadj Lakhdar- Batna.
- Bennaceur, M., Chorfi, M., Rahmoune, C., El Jaafri, S. et Opaul, R.**, 1997. Potentialités de production de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au Magreb. *Rev. Sci. Technol. Univ. Constantine*, n°8. 69-74 p.
- Bensoltane, S.**, 2006. Evaluation de la toxicité du nitrate d'ammonium (NH₄NO₃) sur différents modèles biologiques : Mammifères, Végétaux, et Protistes ciliés. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba.
- Bertrand, F. et Maumy, M.**, 2011. Analyses de la variance. Manuel de cours, université de Strasbourg. 140p.
- Bérubé, V. E., Boily, M. H., Deblois, C., Dassylva, N. and Spear, P. A.**, 2005. Plasma retinoid profile in bullfrogs, *Rana catesbeiana*, in relation to agricultural intensity of sub-watersheds in the Yamaska River drainage basin, Québec, Canada. *Aquatic Toxicology* 71: 109-120.
- Blum, A. and Pnuel, Y.**, 1990. Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a Mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res* 41:799-810.
- Blum, A.**, 1988. *Plants breeding for stress environments*. CRC Press. Eds. 223 p.
- Boizot, N. et Charpentier, J. P.**, 2006. Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Méthodes et outils pour l'observation et l'évaluation des milieux forestiers, prairiaux et aquatiques, *INRA*, 79-82.

Boldt, T. S. and Jacobsen, C. S., 2006. Different toxic effects of the sulfonylurea herbicides Metsulfuron Methyl, Chlorsulfuron and Thifensulfuron Methyl on fluorescent pseudomonads isolated from an agricultural soil. *FEMS Microbiology Letters* 161(1): 29-35.

Bolskakova, I. V., 1989. Anioxydants properties of number of plants extracts. *Biofisika* 43 (2): 186-188.

Boo, Y. C. and Jung, J., 1999. Water deficit-induced oxidative stress and antioxidative defenses in rice plants. *Journal of Plant Physiology* 155: 255–261.

Bordjiba, O. et Ketif, A., 2009. Effet de Trois Pesticides (Hexaconazole, Bromuconazole et Fluazifop-p-butyl) sur quelques Métabolites Physio-Biochimiques du Blé dur : *Triticum durum*. Desf. *European Journal of Scientific Research* 36 (2): 260-268.

Bors, W., Heller, W., Michel, C. and Stettmaier, K., 1996. Flavonoids and polyphenols: Chemistry and Biology. Handbook of Antioxidants (Series: Antioxidants in Health and Disease 3). 409- 466 p.

Bouchlaghem, S., Djebbar, M.R., Rouabhi, R., Ramdani, K. and Berrebbah, H., 2011. Correlation Between Changes in Biochemical Roots of Wheat (*Triticum durum* Desf) and Stress Induced by Some Regimes Fertilizer NPK. *American-Eurasian J. Toxicol. Sci* 3: 47-51.

Boulal, H., Zaghouane, O., EL Mourid, M. et Rezgui, S., 2007. Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA. Algérie. 176 p.

Bouzerzour, H. et Hafsi, M., 1993. Diagnostic du comportement variétal du blé dur dans les hautes plaines sétifiennes. In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier, France. Ed. INRA. Paris. 64: 205-215.

Bouziyani, M., 2007. L'usage immodéré des pesticides. De graves conséquences sanitaires. Le guide de la médecine et de la santé. Santé Maghreb.

Bradford, M., 1976. A Rapid and Sensitive Method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principal of protein-dye binding. *Analytical biochem* 72: 248-254.

Brands-williams, W., Cuvelier, M. E. and Berset, C., 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm-Wiss.Technol* 18: 25-30.

Brown, H. M., 1990. Mode of action, crop selectivity, and soil relations of the sulfonylurea herbicides. *Pestic. Sci* 29: 263-281.

Cadet, E., 2008. Detection et discrimination des carences en N, P et K par la fluorescence induite par UV chez le tournesol nain (*Helianthus annuus*, « sunspot »), mémoire présenté à l'université du Québec à Trois-Rivières comme exigence partielle de la maîtrise en sciences de l'environnement.

Cairns, T. and Sherma, J., 1996. Emerging Strategies for Pesticide Analysis. CRC Press, Boca Raton. Florida. USA 754: 125–135.

Caldwell, C. R., 2001. Oxygen radical absorbance capacity of the phenolic compounds in plant extracts fractionated by HPLC. *Analytical Biochemistry* 293 (2): 232-238.

Castelluccio, C., Paganga, G., Melikian, N., Bolwell, G. P., Pridham, J., Sampson, J. and Riceevans, C., 1995. Antioxidant potential of intermediates in phenylpropanoid metabolism in higherplants. *Febs Letters* 368: 188-192.

Cengiz, E. I., Unlu, E. and Balci, K. 2001. The Histopathological effects of Thiodin on the liver and gut of mosquito fish, *Gambusia afinis*. *Journal of Environmental Science and Health* 36 (1):75-85.

Chafik, N., 1997. Contribution à l'étude du comportement de l'herbicide Triflurosulfuron methyle dans le sol et dans les milieux aquatiques. Thèse de Doctorat. Université Hassan II Ain-Chock. Casablanca, 5.

Cheikh M'hamed, H., Abdellaoui, R., Kadri, K., Ben Naceur, M. et Bel Hadj, S., 2008. Évaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge (*Hordium vulgare* L.) cultivées en Tunisie: approche physiologique) sciences & technologie n°28 décembre 30 -37.

Chinnusamy, V., Jagendorf, A. and Zhu, J. K., 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci* 45(2): 437–448.

Chnirheb, A., 2012. Phototransformation des herbicides Mefenpyrdiethyl et l'Amidosulfuron en milieux homogène et hétérogène: Etude cinétique et structurale. Thèse de doctorat. Université Mohammed V Agdal faculté des sciences Rabat.

Cho, U. H. and Seo, N. H., 2005. Oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation. In Lin, R., Wang, X., Luo, Y., Du, W., Guo, H., Yin, D. (2007) Effects of soil cadmium on growth, oxidative stress and antioxidant system in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). *Chemosphere* 69: 89–98.

Clarke, J. M., De Pauw, R. M. and Townley-Smith, T. F., 1991. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Sci* 32: 723-728.

Clotilde, V., Guiraud, J. L., Souquet, J. M., Ageorges, A., Vialet, S., Terrier, N., Cheynier, V. et Ollé, D., 2011. Influence du stress hydrique sur l'accumulation des flavonoïdes. Revue française d'œnologie. N° 247.

Coleman, J. O. D., Randall, R. and BlakeKalff, M. M. A., 1997. Detoxification of xenobiotics in plant cells by glutathione conjugation and vacuolar compartmentalization: A fluorescent assay using monochlorobimane. *Plant Cell and Environment* 20: 449-460.

Cominelli, E., Gusmaroli, G., Allegra, D., Galbiati, M., Wade, H. K., Jenkins, G. I. and Tonelli, C., 2008. Expression analysis of anthocyanin regulatory genes in response to different light qualities in *Arabidopsis thaliana*. *J Plant Physiol* 165: 886-894.

Cornell, R. M. and Schwertmann, U., 1979. Influence of organic anions on the crystallization of ferrihydrite. *Clays Clay Min* 27: 402-410.

Coupe, R. H., Manning, M. A., Foreman, W. T., Goolsby, D. A. and Majewski, M. S., 2000. Occurrence of pesticides in rain and air in urban and agricultural areas of Mississippi, April-September 1995. *The Science of the Total Environment* 248: 227-240.

CPP., 2002. Comité de la Prévention et de la Précaution, Risques sanitaires liés à l'utilisation de produits phytosanitaires. p.9, 22, 32. <http://www.la documentation française>.

Cunningham, S. D., Berti, W. R. and Huang, J. W., 1995. Phytoremediation of contaminated soils. *Trends Biotechnol* 13: 393-397.

Dagnelie, P., 1999. Statistique théorique et appliqué : Tome 2. Edition : Université DE BOECK et Larcier, Belgique, 450 p.

Davies, K. J. A., 1987. Protein damage and degradation by oxygen radicals. I. General aspects. *J. Biol. Chem* 262: 9895-9901.

Deal, L. M. and Hess, F. D., 1980. An analysis of growth inhibitory characteristics of alachlor and metachlor. *Weed Science* 28: 168-175.

Dec, A., 1997. Analysis of soil bound residues of C¹³ – labelled fungicide cyprodinil by NMR spectroscopy. *Environ. Sci. techno* 3: 1128 – 1135.

Del Moral, R., 1993. Mechanisms of primary succession on volcanoes: a view from Mount St. Helens. In J. Miles and D. H. Walton [eds.], Primary succession on land. Blackwell Scientific Publications. London, UK. 79–100 p.

Delabays, G., Mermillod and Bohren, C., 2006. First case of resistance to sulfonylurea herbicides reported in Switzerland: a biotype of loose silky-bent (*Apera spica-venti* (L.) Beauv). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 89-94.

Delgado, A., Madrid, A., Kassem, S., Andreu, L. and Campillo, M. C., 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. *Plant Soil* 245: 277–286.

Dewez, D., Didur, O., Vincent-Heroux, J. and Popovic, R., 2007. Validation of photosynthetic fluorescence parameters as biomarkers or isotopuron toxic effect on alga *Scenedesmus obliquus*. Environmental Toxicology Research Center. TOXEN, 2101, Montreal, Quebec, Canada.

Di Corcia, A. and Marchetti, M., 1992. Method Development for Monitoring Pesticides in Environmental Waters: Liquid-Solid Extraction Followed by Liquid chromatography. *Environ. Sci. Technol* 26: 66-74.

Dietz, A. C. and Schnoor, J. L., 2001. Advances in phytoremediation. *Environmental Health Perspectives* 109: 163-168.

Dietz, K. J., 2005. Plant thiol enzymes and thiol homeostasis in relation to thiol-dependent redox regulation and oxidative stress. In “ Antioxidants and reactive oxygen species in plants” N. Smirnoff éd. Blackwell Publishing Ltd. 197-214 p.

Dixon, R. A. and Paiva, N. L., 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The Plant Cell* 7: 1085-1097.

Djekoun, A. et Ykhlef, N., 1996. Déficit hydrique, effets stomatiques et non stomatiques et activité photosynthétique chez quelques génotypes de blé tétraploïdes. Dans : 3^{ème} Réunion du réseau SEWANA, de blé dur, IAV Hassan II, 6-7 décembre 1996.

Dore, T., Le bail, M., Martin, P., Ney, B. et Roger-estrade, J., 2006. L'agronomie aujourd'hui. Versailles: Editions QUAE.

Dörfling, K. and 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.

Dorval, J., Leblond, V., Deblois, C. and Hontela, A., 2005. Oxidative stress and endocrine endpoints in white sucker (*Catostomus commersoni*) from a river impacted by agricultural chemicals. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24: 1273-1280.

Downey, M. O., Dokoozlian, N. K. and Krstic, M. P., 2006. Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of Grapes and wine: a review of recent research. *Am J Enol Vitic* 57(3): 257-268.

Downing, A.L., DeVanna, K.M., Rubeck-Schurtz, C.N., Tuhela, L. and Grunkemeyer, H., 2008. Community and ecosystem responses to a pulsed pesticide disturbance in freshwater ecosystems. *Ecotoxicology* 17: 539-548.

Duke, W. B., Slife, F. W., Hanson, J. B. and Butler, H. S., 1975. An investigation on the mechanism of action of propachlor. *Weed Science* 23: 142-147.

Edreva, A., 2005. The importance of non-photosynthetic pigments and cinnamic acid derivatives in photoprotection. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106: 135-146.

Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M.A. and Waines, J.G., 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. I. Post anthesis changes in internode dry matter. *Crop Sci* 46:735–746.

Eisenhauer, N., 2009. No interactive effects of pesticides and plant diversity on soil microbial biomass and respiration. *Applied Soil Ecology* 42(1): 31-36.

El Mrabet, K., 2008. Développement d'une méthode d'analyse de résidus de pesticides par dilution isotopique associée à la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem dans les matrices céréalières après extraction en solvant chaud pressurisé. Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie curie.

El-Dib, M. A., Shehata, A. and Abou-Waly, H. F., 1991. Response of fresh water algae (*Scenedesmus* sp.) to phenylurea herbicides. *Water, Air and Soil Pollution* 55: 295-303.

- El-Ghamry, A.**, 2001. Combined effects of two sulfonylurea herbicides on soil microbial biomass and N mineralization. *Journal of Environmental Sciences* 13(3): 1878-7320.
- Ellis, R. P. and Brown, J.**, 1986. Yield in spring barley at contrasting sites in England and Scotland. *Ann Appl Biol* 109: 613–617.
- Erchidi, A. E., Benbella, M. et Talouizte, A.**, 2000. Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement en grain chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique. *Options méditerranéennes* 40 : 279-282.
- Erroux, J.**, 1974. Introduction au catalogue des blés durs cultivés en Algérie. Bull. Soc. Histoire Naturelle Afrique du Nord.
- Eze, O. C. and Loganathan, P.**, 1990. Effects of pH on phosphate sorption of some Paleudults of southern Nigeria. *Soil Sci* 150: 613-621.
- FAO., 2011.** Perspective de l'alimentation : analyse de marchés mondiaux.
- FAO., 2013.** Crop prospects and Food situation. N°2.
- FAO., 2014.** Perspectives Agricoles de l'OCDE et de la FAO 2012-2021.
- Faostat., 2007.** Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations.
- Farquhar, G. D. and Sharkey, T. D.**, 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol* 33 : 317-345.
- Faurie, C., Erra, C., Médorie, P., Devane, J. et Remptime, J. L.**, 2003. Écologie, approche scientifique et pratique. 5^{ème} édition LAVOISIER. 823p
- Fayez, K. A. and Abd-Elfattah, Z.**, 2007. Alteration in growth and physiological activities in *Chlorella vulgaris* under the effect of photosynthetic inhibitor diuron. *International journal of agriculture & biology* 09(4):631–634.
- Feillet, P.**, 2000. Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris.
- Fonesco, S. and Patterson, F. L.**, 1968. Yield component heritabilities and interrelationships in winter wheat. *Crop.Sci* 8:614-617.
- Fox, R. L.**, 1969. Fertilization of volcanic ash soils. Panel on volcanic ash soils in Latin America, 61p.
- Franquelra, D., Cio, A., Torres, E., Orosa, M. and Herrero, C.**, 1999. A comparison of the relative sensitivity of structural and functional cellular responses in the alga *Chlamydomonas eugametos* exposed to the herbicide paraquat. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 36: 264-269.

Friesen, D. K., Juo, A. S. R. and Miller, M. H., 1980. Liming and lime-phosphorus-zinc interactions in two Nigerian Ultisols. I. Interactions in the soil. *Soil Sci. Soc. Am. J* 44: 1221 - 1226.

Fufezan, C., Rutherford, A. W. and Krieger-Liszkay, A., 2002. Singlet oxygen production in herbicide-treated photosystem II. *FEES Lett* 532: 407-410.

Fujita, A., Goto-Yamamoto, N., Aramaki, I. and Hashizume, K., 2006. Organ-specific transcription of putative flavonol synthase genes of Grapevine and effects of plant hormones and shading on flavonol biosynthesis in Grape berry skins. *Biosci Biotechnol Biochem* 70(3): 632-638.

Gaballah, M. S. and Rady, M. M., 2012. Salicylic Acid Mitigated Cadmium Toxicity by Attenuating the Oxidative Stress in Pea (*Pisum sativum* L.) plants. *International Journal of Biological, Ecological and Environmental Sciences* 1(4): 159-165.

Gate, P., 1995. Ecophysiologie du blé. Paris: Tec et Doc- Lavoisier.

Gauvrit, C., 1996. Efficacité et sélectivité des herbicides. Institut national de la recherche agronomique, Paris. 158 pp.

Gendron, A. et Branchaud, A., 1997. Impact potentiel de la contamination du milieu aquatique sur la reproduction du suceur cuivré (*Moxostoma hubbsi*) : synthèse des connaissances, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Rapport technique, 16-02. Direction régionale de la Montérégie (France).

Geoffroy, L., Tesseire, H., Couderchet, M., Vernet, G., 2002. Effect of oxyfluorfen and diuron alone and in mixture on antioxidative enzymes of *Scenedesmus obliquus*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 72: 178-185.

Gerke, J. and Hermann, R., 1992. Adsorption of orthophosphate to humic-Fe-complexes and to amorphous Fe-oxide. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 155: 233-236.

Ghozlène, I., Djebbar, M.R., Grara, N., Berrebbah, H. and Chagra, A., 2013. Oxidative stress, chlorophyll content and ROS production and localization in *Triticum durum* seed, *Annals of Biological Research* 4 (5):11-15.

Gillet, S., Decottignies, P., Chardonnet, S. and Le Marechal, P., 2006. Cadmium response and redoxin targets in *Chlamydomonas reinhardtii*: a proteomic approach. *Photosynth. Res* 89: 201-211.

Gomez-Ariza, J., Campo, S., Rufat, M., Estopa, M., Messeguer, J., San Segundo, B. and Coca, M., 2007. Sucrose-mediated priming of plant defense responses and broad-spectrum disease resistance by overexpression of the maize pathogenesis-related PRms protein in rice plants. *Mol Plant Microbe Interact* 20: 832-842.

Gondé, R. et Jussiaux, M., 1980. Cours d'agriculture moderne. 9^{ème} édition, Ed. Maison Rustique. Paris. 628 p.

Gonzalez-Barreiro, O., Rioboo, C., Cid, A. and Herrero, C., 2004. Atrazine-induced chlorosis in *Synechococcus elongatus* cells. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 46: 301-307.

Gouvernement du Québec., 2002. Répertoire des principaux pesticides utilisés au Québec. Québec, Publications du Québec, 476 p.

Grand court, M. et Prats., 1971. Les céréales. Collection d'enseignement agricole. J .B. Bailliére et fils. 351p.

Grene, R., 2002. Oxydative Stress and Acclimation Mechanisms in Plants. The American Society of Plant Biologists. The *Arabidopsis* Book, 1-20 p.

Grossmann, K., 2003. News from old compounds: the mode of action of auxin herbicides. p. 131-142. In G. Voss et G. Ramos (ed.) Weed Control: chemistry, biochemistry, molecular biology. In Chemistry of crop protection: progress and prospects in science and regulation. Wiley Inter Science online books, Cambridge.

Gustavson, K. and Wångberg S. A., 1995. Tolerance induction and succession in microalgae communities exposed to copper and atrazine. *Aquatic Toxicology* 32: 283-302.

Guttieri, M. J., Eberlein, C. V. and Thill, D. C., 1995. Diverse mutations in the acetolactate synthase gene confer chlorsulfuron resistance in *Kochia* (*Kochia scoparia*) biotypes. *Weed Sci* 43:175- 178.

Hamada, Y., 2002. Evaluation de la variabilité génétique et utilisation des espèces tétraploïdes du genre *Triticum* pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire Magister. Université Mentouri Constantine. 167p.

Hamdaoui, F., 1996. Caractérisation actuelle de la qualité des sols et des eaux dans le périmètre irrigué des Doukkala. Mémoire Ingénieur. État Agron. Université Hassan II, Rabat, 30 p.

Hansen, C. E., Del Olmo, M. and Burric., 1998. Enzyme activities in cocoa beans during fermentation. *J. Sci. Food Agric* 77: 273-281.

Hanson, A. D., Nelson, C. E. and Everson, E. H., 1977. Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using contrasting barely cultivars. *Crop Sci* 17: 720-726.

Hare, P. D. and Cress, W. A., 1997. Metabolic implications of stress induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regul* 21(2): 79–102.

Harrington, J. B., 1932. Natural outcrossing in wheat, oats, and barley at Saskatoon, *Saskatchewan. Scientific Agric* 12: 470-483.

- Hatfield Peggy, M., Guikema James, A, ST., John Wdith, B. and Gendep Steven, M.,** 1989. Characterization of the adaptation response of *Anacystis nidulans* to growth in the presence of sublethal doses of herbicide. *Current Microbiology* 18: 369-374.
- Hatton, P. J., Dixon, D., Cole, D. J., Edwards, R.,** 1996. Glutathione transferase activities and herbicide selectivity in maize and associated weed species. *Pesticide Science* 46: 267-275
- Havaux, M.,** 1988. Effects of temperature on the transitions between state 1 and state 2 in intact maize leaves. *Plant Physiol. Biochem* 26: 245-251.
- Hébrard, J. P.,** 1996. Des pâtes épatantes ! In : Braun P. et Hébrard J.P. (Eds), Blé dur objectif qualité. Ed. ITCF. Paris. pp 6-9.
- Hegedüs, A., Erdei, S. and Horvath, G.,** 2001. Comparative studies of H₂O₂ detoxifying enzymes in green and greening barley seedlings under cadmium stress. *Plant science* 160 (6): 1085-1093.
- Hennouni, N., Djebar M.R., Rouabhi R., Youbi M. and Berrebbah H.,** 2008. Effects of Artea, a systemic fungicide, on the antioxidant system and the respiratory activity of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Afri. J. Biotech* 7: 591-594.
- Hercegová, A., Dömötöróvá, M. and Matisová, E.,** 2007. Sample preparation methods in the analysis of pesticide residues in baby food with subsequent chromatographic determination. *J. Chrom. A* 1153: 54-73.
- Hernandez, J. A. and Almansa, M. S.,** 2002. Short-term effects of salt stress on antioxidant systems and leaf water relations of pea leaves. *Physiol. Plant* 115: 251-257.
- Hildebrandt, A., Guillamon, M., Lacorte, S., Taulerr. And Barcelo, D.,** 2008. Impact of pesticides used in agriculture and vineyards to surface and groundwater quality (North Spain). *Water research* 42 (13): 3315-3326.
- Hiner, A., Ruiz, J., Lopez, J. N., Arnao, M. B., Raven, E. I., Canovas, F. G. and Ascota, M.,** 2002. Kinetic study of the Ascorbate-peroxidase by hydrogen peroxide. *Biochem. J* 348: 321-328.
- Hingston, F. J., Posner, A. M. and Quirk, J. P.,** 1972. Anion adsorption by goethite and gibbsite. The role of the proton in determining adsorption envelopes. *J. Soil Sci* 23: 177- 192.
- Hinsinger, P.,** 2001. Interactions chimiques entre racines et minéraux du sol. Conséquences sur l'altération des minéraux et la nutrition des végétaux. Mémoire en vue d'être habilité à diriger des travaux de recherches. Université de Montpellier II. 147p.
- Hodges, D. M. and Forney, C. F.,** 2000. The effects of ethylene, depressed oxygen and elevated carbon dioxide on antioxidant profiles of senescing spinach leaves. *J. Expt. Bot* 51: 645-655.
- Hong, Z., Lakkineni, K., Zhang, Z. and Verma, D. P. S.,** 2000. Removal of feedback inhibition of D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. *Plant Physiol* 122(4): 1129-1136.

Ikeda, Y., Ohki, S., Koizumi, K., Tanaka, A., Watanabe, H., Kohno, H., Van Rensen, J. J., Boger, P. and Wakabayashi, K., 2003. Binding site of novel 2-benzylamino-4-methyl-6-trifluoromethyl-1,3,5-triazine herbicides in the D1 protein of photosystem II. *Photosynth. Res* 77: 35-43.

Irace-Guigand, S., Aaron, J. J., Scribe, P. and Barceló, D., 2004. A comparison of the environmental impact of pesticide multiresidues and their occurrence in river waters surveyed by liquid chromatography coupled in tandem with UV diode array detection and mass spectrometry. *Chemosphere* 55: 973-981.

Jeong, S. T., Goto-Yamamoto, N., Kobayashi, S. and Esaka, M., 2004. Effects of plant hormones and shading on the accumulation of anthocyanins and the expression of anthocyanin biosynthetic genes in grape berry skins. *Plant Sci* 167: 247-252.

Jiang Yand Huang B., 2001. Effects of calcium on antioxidant metabolism and water relations associated with heat tolerance in two cool-season grasses. *Journal of Experimental Botany* 52: 341-349.

Jiménez, A., Hernández, J. A., del Río, L. A., Ros Barceló, A. and Sevilla, F., 1997. Evidence for the presence of the ascorbate–glutathione cycle in mitochondria and peroxisomes of pea (*Pisum sativum* L.) leaves. *Plant Physiol* 114: 275–284.

Johnson, A. E., 2000. Soil and plant phosphate. Edts International Fertilizer Industry Association. 46 p.

Johnson, D. A., Richards, R. A. and Turner, N. C., 1983. Yield water relations, gas exchange and surface reflectance or near-isogenic wheat lines differing in glaucousness. *Crop Sci* 23: 318-325.

Johnson, R. C., Nguyen, H. T. and Croy, L. I., 1984. Osmotic adjustment and solute accumulation in two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci* 24: 957-962.

Jonard, P. et Koller, J., 1950. Les facteurs de la productivité chez le blé. Résultats obtenus en 1948 et 1949. *Ann. Am. Plant* 2: 256-276.

Jones, D. L., Blancaflor, E. B., Kochian, L. V. and Gilroy, S., 2006. Spatial coordination of aluminum uptake, production of reactive oxygen species, callose production and wall rigidification in maize roots. *Plant Cell and Environment* 29: 1309–1318.

Joscelyne, V. L., Downey, M. O., Mazza, M. and Bastian, S. E. P., 2007. Partial shading of Cabernet Sauvignon and Shiraz vines altered wine color and mouthfeel attributes, but increased exposure had little impact. *J Agric Food Chem* 55: 10888-10896.

Julkunen-Titto, R., 1985. Phenolic constituents in the leaves of northern willows: methods for the analysis of certain phenolics. *Journal of Agricultural and Food chemistry* 33: 213-217.

Kabata Pendias, A. and Pendias, H., 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd CRC Press, Boca Raton. London, New-York. Washington D.C.

Kachi, S., 2007. Vulnérabilité de la nappe alluviale de Tebessa-Morsott face aux polluants. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar. Annaba.

Kaminska-Rozek, E. and Pukacki, P. M., 2004. Effect of water deficit on oxidative stress and degradation of cell membranes in needles of Norway spruce (*Picea abies*). *Acta Physiol. Plant* 26: 431-442.

Katsoyiannis, A. and Samara, C., 2004. Persistent organic pollutants (POPs) in the sewage treatment plant of Thessaloniki, northern Greece: occurrence and removal. *Water Research* 38: 2685-2698.

Kauss, H., 1977. Biochemistry of regulation. In Northcote (Ed): International Review of Biochemistry, II. 119-139 p.

Kellil, H., 2010. Contribution à l'étude du complexe entomologique des céréales dans la région des hautes plaines de l'Est algérien. Mémoire Magister. Université El Hadj Lakhdar-Batna.

Khaldi, F., 2013. Mécanismes d'action des polluants chimiques industriels (engrais et NOx) sur des bio-indicateurs de pollution (Mousses et Lichens). Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba. 174 p.

Khosravinejad, F., Heydari, R. and Farboodnia, T., 2008. Antioxidant responses of two barley varieties to saline stress. *Res. J. Biol Sci* 3: 486-490.

Kilmartin, P. A. and Hsu, C. F., 2003. Characterisation of polyphenols in green, oolong, and black teas, and in coffee, using cyclic voltammetry. *Food Chemistry* 82: 501-512.

Kilmartin, P. A., Zou, H. and Waterhouse, A. L., 2001. A cyclic voltammetric method suitable to characterise antioxidant properties of wine and wine phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 1957-1965.

Kim, S.Y., Lim, J.H., Park, M. R., Kim, Y.J., Park, T.I., Seo, Y.W., Choi, K.G. and Yun, S.J., 2005. Enhanced antioxidant enzymes are associated with reduced hydrogen peroxide in barley roots under saline stress. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology* 38: 218-224.

Kim, Y. S., Ke, F. and Zhang, Q. Y., 2009. Effect of β -glucan on activity of antioxidant enzymes and Mx gene expression in virus infected grass carp, *Fish & Shellfish Immunology* 27: 336-340.

Kirilovsky, D., Rutherford, A. W. and Etienne, A. L., 1994. Influence of DCMU and ferricyanide on photodamage in photosystem II. *Biochemistry* 33: 3087-3095.

Kloskowski, H., 1992. Plant availability of bound anilazine residues in a degraded loess soil. *J. Environ. Scien. Health* 6: 487 - 505.

Kocsy, G., Laurie, R., Szalai, G., Szilagyi, V., Simon-Sarkadi, L., Galiba, G. and de Ronde, J.A., 2005. Genetic manipulation of proline levels affects antioxidants in soybean subjected to simultaneous drought and heat stresses. *Physiol. Plant* 124(2): 227-235.

Komives, T. and Gullner, G., 2005. Phase I xenobiotic metabolic systems in plants. *Zeitschrift Fur Naturforschung C-a Journal of Biosciences* 60: 179-185.

Krieger-Liszkay, A. and Rutherford, A. W., 1998. Influence of herbicide binding on the redox potential of the quinone acceptor in photosystem II: relevance to photodamage and phytotoxicity. *Biochemistry* 37:17339-17344.

Ksouri, R., Megdiche, W., Debez, A., Falleh, H., Grignon, C., Abdelly, C., 2007. Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritime*. *Plant Physiology and Biochemistry* 45: 244-249.

Laala, A., Rached-Kanouni, M., Alatou, D., 2013. Les variations thermiques saisonniers et leurs impacts sur le comportement écophysiologicals des semis de pin d'Alep. *European Scientific Journal* 9(24): 143-153.

Lagadic, L., Caquet, T., Amiard, J. C. et Ramade, F., 1997. Biomarqueurs en écotoxicologie. Aspects fondamentaux. Collection Écologie, Paris, Masson, 419 pp.

Lelamer, O. et Rousselin, X., 2011. Marché du blé dur - Monde, Europe, France. Les études de France AgriMer, Paris, 44p.

Lemcoff, J. H., Guarnaschelli, A. B., Garau, A. N. and Prystupa, P., 2002. Elastic and osmotic adjustments in roots cutting of several clones of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. from southeastern Australia after a drought. *Flora* 197: 134-142.

Leslie, E. M., Deeley, R.G. and Cole, S.P.C., 2001. Toxicological relevance of the multidrug resistance protein 1, MRP1 (ABCC1) and related transporters. *Toxicology* 167, 3-23.

Lichtenstein, E. P., Cowley, G. T. and Millington, W. F., 1962. Insecticide effects on plant growth-effect of various insecticides on growth and respiration of plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 10: 251-256.

Lopez-Hernandez, I. D. and Burnham, C. P., 1974. The covariance of phosphate sorption with other soil properties in some British and tropical soils. *J. Soil Sci* 25: 196-206.

Loreti, E., Poggi, A., Novi, G., Alpi, A. and Perata, P., 2005. A genome-wide analysis of the effects of sucrose on gene expression in *Arabidopsis* as under anoxia. *Plant Physiology* 137: 1130-1138.

Loutre, C., Dixon, D. P., Brazier, M., Slater, M., Cole, D. J. and Edwards, R., 2003. Isolation of a glucosyltransferase from *Arabidopsis thaliana* active in the metabolism of the persistent pollutant 3, 4-dichloroaniline. *Plant Journal* 34: 485-493.

Mâaalem, S., 2011. Etude de l'impact des interactions entre le phosphore et le Chlorure de Sodium sur trois espèces végétales halophytes du genre *Atriplex* (*A. halimus*, *A. canescens* et *A. nummmularia*). Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba.

Macleod, R.D., 1991. The root apical meristem and its margins. In : Weisel Y., Eshel A. and Kafkafi U. (eds), *Plant roots: the hidden half*. Marcel Dekker Inc, New York, 75-102.

Majumder, A. L., Sengupta, S. and Goswami, L., 2010. Osmolyte regulation in abiotic stress. Chap. 16. Dans *Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation*. Sous la direction de A. Pareek, S.K. Sopory, H.J. Bohnert et Govindjee. 349–370 p.

Mann, J. D., Jordan, L. S. and Day, E., 1965. A survey of herbicides for their effect upon protein synthesis. *Plant Physiology* 40: 840-843.

Mansour, M. M. F., 1998. Protection of plasma membrane of onion epidermal cells by glycinebetaine and proline against NaCl stress. *Plant Physiol. Biochem* 36(10): 767–772.

Matkowski, A. and Piotrowska, M., 2006. Antioxidant and free radical scavenging activities of some medicinal plants from the Lamiaceae. *Fitoterapia* 77: 346-353.

Matthes, B. and Boger, P., 2002. Chloroacetamides affect plasma membrane. *Z Naturforsch.* 57: 843-852.

Matus, J. T., Aquea, F. and Arce-Johnson, P., 2008. Analysis of the grape MYB R2R3 subfamily reveals expanded wine quality-related clades and conserved gene structure organization across *Vitis* and *Arabidopsis* genomes. *BMC Plant Biol* 8: 83.

Maurer, D., 1978. Phytoplankton et pollution. Lagune Ebrié (Abidjan). Secteur de Cortiou (Marseille). Thèse Doc. 3^{ème} cycle, Aix-Marseille II: 121 p.

McGrath, S.P., 1998. Phytoextraction for soil remediation. In R.R. Brooks (ed.) *Plants that hyperaccumulate heavy metals*. CAB Int., Wallingford, UK, 261-287.

Meeker, J. D., Barr, D. B. and Hauser, R., 2006. Thyroid hormones in relation to urinary metabolites of non-persistent insecticides in men of reproductive age. *Reproductive Toxicology* 22: 437-442.

Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. et Hadj Sahraoui, A., 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse* 17: 507-513.

Meksem Amara, L., 2007. Etude des effets de deux fongicides : le Flamenco SC et le TILIT 250 EC sur la physiologie, la croissance et le métabolisme énergétique des racines de *Triticum durum* DESF : variétés GTA et VITRON. Thèse de Doctorat d'état es sciences. Université Badji Mokhtar Annaba. 216p.

Mellfs, J. M., Pillai, P., Davis, D. E. and Truelove, B., 1982. Metolachlor and alachlor effects on membrane permeability and lipid synthesis. *Weed Science* 30: 399-404.

Meyer, A., Chrisman, J., Costa Moreira, J. and Koifman S., 2003. Cancer mortality among agricultural workers from Serrana Region, state of Rio de Janeiro, Brazil. *Environ. Res* 93: 264-271.

Meziani, A., Bammoun, A., Hamou, M. et Bainis, L., 1992. Essai de définition des caractères d'adaptation du blé dur dans différentes zones agroclimatiques de l'Algérie. Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. Les Colloques, (n°64), Montpellier (France), 15-17 Décembre 1992. Ed. INRA, Paris. 191-203p.

Monneveux, P. H., 1991. Quelle stratégie pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver? In: Chalbi Demarly Y. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. Jhon Libbey. INSA-INRA, P165, 186.

Monneveux, P. H. et Nemmar, M., 1986. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre. Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*: 17 pages.

Morales, F. J. and Jimenez-Perez, S., 2001. Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food chem* 72: 119-125.

Moreland, D. E., Malhotra, S. S., Gruenhagen, R. D. and Shükraji, E. H., 1969. Effects of herbicides on RNA and protein synthesis. *Weed Science* 17: 556-563.

Muljadi, D., Posner, A. M. and Quirk, J. P., 1966. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. *J. Soil Sci* 17: 212-247.

Mysliwa-Kurdziel, B. and Strzalka, K., 2005. Influence of Cd (II), Cr (VI) and Fe (III) on early steps of deetiolation process in wheat: fluorescence spectral changes of protochlorophyllide and newly formed chlorophyllide. *Agric. Ecosyst. Environ.* 106: 199-207.

Nakajima, Y., Yoshida, S. and Ono, T. A., 1996. Differential of urealtriazine-type and phenol-type photosystem II inhibitors on inactivation of the electron transport and degradation of D1 protein during photoinhibition. *Plant Cell Physiol* 37: 673-680.

Narbonne, J.F., Garrigues, P., Ribera, D., Raoux, C., Mathieu, A., Lemaire, P., Salaun, J.P. and Lafaurie, M., 1991. Mixed-function oxygenase enzymes as tools for pollution monitoring : field studies on the French coast of the Mediterranean sea. *Comp. Biochem. Physiol.* 100 : 37-42.

Nguyen-Deroche, T. L. N., 2008. Effets du cuivre et du zinc sur la photosynthèse et le métabolisme d'une cyanobactérie et de diatomées marines du littoral vietnamien; comparaison avec des espèces de la côte atlantique française. Thèse de doctorat de l'université du Maine le mans, France.

Nicolaus, B., Sandmann, G., Watanabe, H., Wakabasyasi-it, K. and Boger, P., 1989. Herbicides-induced peroxidation: influence of light and diuron on protoporphyrin IX formation. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 35: 192-201.

Niemenak, N., Rohsius, C., Elwers, S., Ndoumou, D. O. and Lieberei, R., 2006. Comparative study of different cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones in terms of their phenolics and anthocyanins contents. *J. Food Comp. Analysis* 19: 612-619.

Noctor, G. and Foyer, C. H., 1998. Ascorbate and glutathione : Keeping active oxygen under control. *Annu Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol* 49: 249-279.

Normand, D., 1972. Manuel D'identification des Bois Commerciaux. Tome 1. Centre Technique Forestier Tropical. 171p.

Ober, E. S. and Sharp, R. E., 1994. Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentiels. *Plant. Physiol* 105: 981-987.

Oerke, E. and Dehne H., 1997. Global crop production and the efficacy of crop production current situation and futures trends. *European Journal of Plant Pathology* 103: 203-215.

Ouanzar, S., 2012. Etude comparative de l'effet du semis direct et du labour conventionnel sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magister. Université Ferhat Abbas. Sétif.

Oufroukh, F. et Hamadi, M., 1993. Maladies et ravageur des céréales. In benchabane K.D. et Ould-Mekgloufi L. 1998. Evaluation phénologique de quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) et leur sensibilité vis-à-vis de *Drechslera graminea* Rab. Mém. Ing Agro. INA. El-Harrach. PP59-62.

Parent, L. E. and Khiari, L., 2003. Nitrogen and phosphorus indicators of organic soilquality. Chap. 5 dans: Parent L. E. and P. Ilnicki (Editeurs). Organic soils and peat materials for sustainable agriculture. CRC Press, Boca Raton, FL.

Parfitt, R. L., Farmer, V. C. and Russell, J. D., 1977. Adsorption on hydrous oxides. II. Oxalate, benzoate, and phosphate on gibbsite. *J. Soil Sci* 28: 40-47.

Parker, M. L., Ng, A. and Waldron, K. W., 2005. The phenolic acid and polysaccharide composition of cell walls of bran layers of mature wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Avalon) grains. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85: 2539-2547.

Pascal, 1. et Popovic, R., 1993. Mécanismes de toxicité du dinitro-o-crésol dans les chloroplastes. *Water Pollut. Res. J Canada* 28: 687-695.

Peng, Z., Lu, Q. and Verma, D. P., 1996. Reciprocal regulation of D1- pyrroline- 5- carboxylate synthetase and proline dehydrogenase genes controls proline levels during and after osmotic stress in plants. *Mol. Gen. Genet* 253(3): 334-341.

Pereira, R. C., Monterroso, C. and Macias, F., 2010. Phytotoxicity of hexachloro cyclohexane: Effect on germination and early growth of different plant species. *Chemosphere* 79: 326-333.

Peronny, S., 2005. La perception gustative et la consommation des tannins chez le MAKI (*Lemur Catta*). Thèse de Doctorat du Muséum national d'histoire naturelle. Discipline Eco-Ethologie. 151p.

Perret, C., 2001. Analysis de tannins inhibiteurs de stilbène oxydase produite par *Btrytis cinerea* Pers.:FR. Thèse de Doctorat .Université de Neuchâtel. 173p.

Pesci, P. and Beffagna, A., 1984. Inhibiting effect of fusaric acid on abscisic acid induced proline accumulation in barley leaves. *Plant Sci. Letters* 37: 7-12.

Pflugmacher, S., Geissler, K. and Steinberg, C., 1999. Activity of phase I and phase II detoxication enzymes in different cormus parts of *Phragmites australis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 42: 62-66.

Polard, T., 2010. Caractérisation des effets génotoxiques sur poissons de produits phytosanitaires en période de crue. Thèse de Doctorat. Université Toulouse III - Paul Sabatier.

Prade, K., Ottow, J.C.G., Jacq, V.A., Malouf, G. et Loyer, J.Y., 1990. Relation entre les propriétés des sols de rizières inondées et la toxicité ferreuse en basse Casamance (Sénégal). Études, revue et synthèse de travaux antérieurs. Cah. ORSTOM. Sér. Pédol. 25(4) : 453-474.

Price, M. L., Van scoyoc, S. and Butler, L. G., 1978. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain, *J. Agric. Food Chem* 26: 1214-1218.

Puritch, G. S. and Barker, A. V., 1967. Structure and function of leaf tomato chloroplasts during ammonium toxicity. *Plant. Physiol* 42: 1229-1238.

Rached-Kanouni, M., Alatou, D. and Sakr, S., 2000. Responses of cork oak seedlings to short-term exposures to low temperatures. *American Journal of Scientific Research* 59: 28-41.

Ramel, F., 2009. Implication des sucres solubles dans les réponses aux stress xénobiotique et oxydatif chez *Arabidopsis thaliana*. Thèse de doctorat d'état en Sciences de la Vie et de l'Environnement. Université de Rennes 1.

Rastrelli, L., Totaro, K. and De Simone, F., 2002. Determination of organophosphorus pesticide residues in Cilento (Campania, Italy) virgin olive oil by capillary gas chromatography. *Food Chemistry* 79: 303-305.

Reddy, P. S. and Veeranjaneyulu, K., 1991. Proline metabolism in senescing leaves of horsgram (*Macrotyloma uniflorum* Lam.). *J. Plant. Physiol* 137: 381-383.

Rekha, Naik, S. N. and Prasad, R., 2006. Pesticide residue in organic and conventional food-risk analysis. *J. Chem. Health Saf* 13: 12-19.

Ribereau, G.P., 1968. Les composés phénoliques des végétaux, Dunod, Paris, p254.

Rice-Evans, C., 2001. Flavonoid antioxidants. *Current Medicinal Chemistry* 8: 797-807.

Richard, Y. et Giroux, I., 2004. Impact de l'agriculture sur les communautés benthiques et piscicoles du ruisseau Saint-Georges (Québec, Canada), Québec, Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 28 p.

Rioboo, C., Gonzalez, O., Herrero, C. and Cid, A., 2002. Physiological response of freshwater microalga (*Chlorella vulgaris*) to triazine and phenylurea herbicides. *Aquatic Toxicology* 59: 225-235.

- Rivero, R. M., Ruiz, J. M., Garcia, P. C., Lopez-Lefebvre, L. R., Sanchez, E. and Romero, L.,** 2001. Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Science* 160: 315–321.
- Rowan, D. D., Cao, M., Lin-Wang, K., Cooney, J. M., Jensen, D. J., Austin, P.T., Hunt, M. B., Norling, C., Hellens, R. P., Schaffer, R. J. and Allan, A. C.,** 2009. Environmental regulation of leaf colour in red 35S:PAP1 *Arabidopsis thaliana*. *New Phytol* 182: 102-115.
- Ruiz, J. M., Bretones, G., Baghour, M., Ragala, L., Belakbir, A. and Romero, L.,** 1998. Relationship between boron and phenolic metabolism in tobacco leaves. *Phytochemistry* 48: 269–272.
- Rutherford, A. W. and Krieger-Liszkay, A.,** 2001. Herbicide-induced oxidative stress in photosystem II. *Trends Biochem. Sei.* 26: 648-653.
- Sairam, R. K. and Tyagi, A.,** 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Curr. Sci* 86: 407–421.
- Salazar, A. G. and Paulsen, G. M.,** 1971. Some physiological responses of *Sorghum bicolor* to benzene hexachloride. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 19: 1005-1007.
- Salt, D. E., Smith, R. D. et Raskin, I.,** 1998. Phytoremediation. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 49: 643–668.
- Sánchez-Peña, L. C., Reyes, B. E., López-Carrillo, L., Recio, R., Morán-Martínez, J., Cebrián, M. E. and Quintanilla-Vega, B.,** 2004. Organophosphorous pesticides exposure alters sperm chromatin structure in Mexican agricultural workers. *Toxicol. Appl. Pharmacol* 196: 108-113.
- Saraoui, T.,** 2011. Étude de la variabilité morphologique de populations F2 de blé dur (*Triticum durum* desf.) : utilisation d'un indice de sélection. Mémoire de Magister. Université Hadj Lakhdar –Batna.
- Sassi, K., Abid, G., Jemni, L., Dridi-Al Mohandes, B. et Boubaker, M.,** 2012. Étude comparative de six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du stress hydrique. *Journal of Animal & Plant Sciences* 15(2): 2157-2170.
- Saunders, W. M. H.,** 1965. Phosphate retention by New Zealand soils and its relationship to free sesquioxides, organic matter and other soil properties. *N. Z. J. Agric. Res* 8: 30-57.
- Savouré, A., Jaoua, S., Hua Xue Jun, Ardiles, W., Van Montagu, M. and Verbruggen, N.,** 1995. Isolation, characterization, and chromosomal location of a gene encoding the delta 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase in *Arabidopsis thaliana*. *FEBS Letters* 372: 13 -19.
- Scalla, R. et Gauvrit C.,** 1991. Mécanismes d'action phytotoxique des autres familles d'herbicides. P 115-191. In R. Scalla (ed.) Les herbicides: mode d'action et principes d'utilisation. INRA, Paris.

- Scandalios, J. G.**, 2005. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. *Bra. J. Med. Biol. Res* 38: 995-1014.
- Schäfer, R.B., Caquet, T., Siimes, K., Mueller, R., Lagadic, L. and Liess, M.**, 2007. Effects of pesticides on community structure and ecosystem functions in agricultural streams of three biogeographical regions in Europe. *Sci. Total Environ* 382: 272–285.
- Scheyer, A., Graeff, C., Morville, S., Mirabel, P. and Millet, M.**, 2005. Analysis of some organochlorine pesticides in an urban atmosphere (Strasbourg, east of France). *Chemosphere* 58: 1517-1524.
- Schmitt, U., Adya, S., Frankenstein, C. and Moller, R.**, 2006. Cell wall modifications in woody stems induced by mechanical stress. *New Zealand Journal of Forestry Science* 36: 72–86.
- Sgherri, C. I. M., Pinzino, C. and Navari-Izzo, F.**, 1996. Sunflower seedlings subjected to stress by water deficit: changes in O₂ production related to the composition of thylakoid membranes. *Physiol Plant* 96: 446- 452.
- Shanahan, J. F., Donnely, K. J., Smith, D. H. and Smikka, D.E.**, 1985. Shoot development properties associated with grain yield in winter wheat. *Crop Science* 25: 770-775.
- Shang, C., Stewart, J. W. B. and Huang, P. M.**, 1992. pH effect on kinetics of adsorption of organic and inorganic phosphates by short-range ordered aluminium and iron precipitates. *Geoderma* 53: 1-14.
- Shigeoka, S., Yukinori, Y., Takashi, M., Kazuya, Y., Toru, T., Takahiro, I.**, 2002. Activities of amine oxidase, peroxydase and catalase in seedlings of *Pisum sativum* L. under different light conditions. *The Plant Journal* 32 (6): 915–925.
- Siddique, K. H. M., Belford, R. K., Perry, M. W. and Tennant, D.**, 1989. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Aust. J. Agric. Res* 40:473–487.
- Siedlecka, A. and Krupa, Z.**, 2002. Functions of enzymes in heavy metal treated plants. In: *Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants*. Prasad M.N.V and Strzalka K. (Eds), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp 303-324.
- Silva-Ortega, C.O., Ochoa-Alfaro, A. E., Reyes-Aguero, J. A., Aguado-Santacruz, G. A. and Jimenez-Bremont, J. F.**, 2008. Salt stress increases the expression of p5cs gene and induces proline accumulation in cactus pear. *Plant Physiol. Biochem* 46(1): 82–92.
- Singer, A. and Huang, P. M.**, 1990. Effects of humic acid on the crystallization of aluminium hydroxides. *Clays Clay Min* 38:47-52.
- Singh, T. N., Paleg, L. G. and Aspinall, D.**, 1973. Nitrogen metabolism and growth in barley plant during water stress. *Aust. J. Biol. Sci* 26: 45-56.

Singleton, V.L. and Rossi, J. A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdc phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Ecology and Viticulture* 16: 144-158.

Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M. et 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). Univ. Elmanar. Tunisie.

Souahi, H., Meksem Amara, L., Grara, N. and Djebbar, M.R., 2014. Physiology and biochemistry effects of herbicides Sekator and Zoom on two varieties of wheat (Waha and HD) in semi-arid region. *Annual Research & Review in Biology* 5(5): 449-459.

Spayd, S. E., Tarara, J. M., Mee, D. L. and Ferguson, J. C., 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *Am J Enol Vitic* 53(3): 171-182.

Steduto, P., Albrizio, R., Giorio, P. and Sorrentino, G., 2000. Gas exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity. *Environmental and Experimental Botany* 44 (3): 243–255.

Sterling, T. M. and Hall J. C., 1997. Mechanism of action of natural auxins and the auxinic herbicides. p. 111-141. In R.M. Roe et al. (ed.) *Herbicide activity: toxicology, biochemistry and molecular biology*. IOS Press.

Stevenson, f. J., 1982. Humus chemistry. Genesis, composition, reactions. Wiley Interscience. New York.

Stewart, C. R. and Lee, J. A., 1974. The role of proline accumulation in halophytes. *Planta* 120: 273-289.

Stewart, C. R., Boggess, S. F., Aspinall, D. and Paleg, G., 1977. Inhibition of proline oxidation by water stress. *Plant Physiol* 59: 930-932.

Strandberg, B. and Hites, R. A., 2001. Concentration of organochlorine pesticides in wine corks. *Chemosphere* 44: 729-735.

Tahri, E., Belabed, A. et Sadki, K., 1997. Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Bulletin de l'Institut Scientifique. Rebat.* 21: 81 - 89.

Tal, M. and Rosenthal, I., 1979. Salt tolerance in *Simmondsia chenensis* water balance and accumulation of chloride sodium and proline under low and high salinity. *Ann. Bot* 34: 701-708.

Tang, W. and Newton, R. J., 2005. Peroxidase and catalase activities are involved in direct adventitious shoot formation induced by thidiazuron in eastern white pine (*Pinus strobes* L.) zygotic embryos. *Plant Physiol. Biochem* 43: 760-769.

Teisseire, H. and Vernet, G., 2000. The «diuron effect» due to a herbicide strengthening of antioxidative defenses of *Lemna minor*? *Pesticide Biochemistry and Physiology* 66: 153-160.

Tian, M., Gu, Q. and Zhu, M., 2003. The involvement of hydrogen peroxide and antioxidant enzymes in the process of shoot organogenesis of strawberry callus. *Plant Sci* 165: 701-707.

Tissut, M., Raveton, M. and Ravanel, P., 2006. Ecoremediation. Cooperation between plants and soil microorganisms, molecular aspects and limits, pp 489-504. In I. Twardowska, H. E. Allen, M. M. Haggblom and S. Stefaniak [eds.], *Viable Methods of Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation*.

Tomlin, C., 1994. *The pesticide manual*, 10th ed.; British Crop Protection Council: Cambridge, UK. 1341 pp.

Tort, N., Öztürk, İ. & Tosun, N., 2004. Fungusit uygulamalarının domates (*Lycopersicum esculentum* Mill.)'in anatomik yapısına ve fizyolojisi üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 41: 111–122.

Triboi, E., Lemercier, E. et Rousset, M., 1985. Elaboration du poids de grain. *Ecophysiologie du blé*. C.R.INRA. 67-100p.

Troccoli, A., Borrelli, G. M., Vita, P. D., Fares, C. and Fonzo, N. D., 2000. Durum wheat quality: a multidisciplinary concept. *Journal of Cereal Science* 32: 99–113.

Tron, I., Piquet, O. et Cohuet, S., 2001. Effets chroniques des pesticides sur la santé: état actuel des connaissances. *Observatoire Régional de Santé de Bretagne*.

Uehara, G. and Gillman, G., 1981. *The mineralogy, chemistry, and physics of tropical soils with variable charge clays*. Westview press, Boulder, CO.

Valentovic, P., Luxova, M. and Kolarovic Gasparikova, O., 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relation in two maize cultivars. *Environment* 4: 186-191.

Van Assche, F. and Clijsters, H., 1990. Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell Environ* 13: 195-206.

Verma, A. and Pillai, M. K. K., 1991. Bioavailability of soil-bound residues of DDT and HCH to certain plants. *Soil Biology & Biochemistry* 23: 347-351.

Vilău, F., Vilău, N., Roşculete, C. A. and Mutafa, I., 2010. Research concerning wheat crop weed control and herbicide influence on bread quality. *Analele Universităţii din Craiova. Seria Agricultură – Montanologie – Cadastru* Vol. XL/1.

Vo Dinh, Q., Vu Cao, T., Tran Thi, T. L. and Dufey, J. E., 1996. Phosphorus sorption in soils of the Mekong Delta (Vietnam) as described by the binary Langmuir equation. *Eur. J. Soil Sci* 47:113-123.

Vollenweider, P., Cosio, C., Günthard-Goerg, M. S. and Keller, C., 2006. Localization and effects of cadmium in leaves of a cadmium tolerant willow (*Salix viminalis* L.), part II.

Microlocalization and cellular effect of cadmium. *Environmental Experimental Botany* 58: 25–40.

Vulliet, E., Emmelin, C., Grenier-Loustalot, M. F., Païssé, O. and Chovelon, J. M., 2002. Simulated Sunlight-Induced Photodegradations of Triasulfuron and Cinosulfuron in Aqueous Solutions. *J. Agric. Food Chem* 50 (5): 1081–1088.

Wang, M. E. and Zhou, Q. X., 2005. Single and joint toxicity of chlorimuron-ethyl, cadmium and cooper acting on wheat *Triticum aestivum*. *Ecotoxicol Environ Saf* 60: 169-175.

Widenfalk, A., 2008. Effects of pesticides on community composition and activity of sediment microbes responses at various levels of microbial community organization. *Environmental Pollution* 152(3): 576-584.

Wilkinson, R. E., 1982. Alachlor influence on sorghum growth and gibberellin biosynthesis. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 17: 177-184.

Willekens, H., Chamnongpol, S., Davey, M., Schraudner, M., Langebartels, C., Van Montagu, M., Inze, D. and Van Camp, W., 1997. Catalase is a sink for H₂O₂ and is indispensable for stress defense in C₃ plants. *The EMBO. Journal* 16 (16): 4806- 4816.

Williams, E. G., Scott, N. M. and McDonald, M. J., 1958. Soil properties and phosphate sorption. *J. Sci. Food Agric* 9: 551-559.

Wintermans, J. F. G. M. and De Mots, A., 1965. Spectrophotometric characteristics of chlorophylls *a* and band their phaeophytins in ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta* 109: 448- 453.

Worrall, F. and Kolpin, D. W., 2004. Aquifer vulnerability to pesticide pollution combining soil, land-use and aquifer properties with molecular descriptors. *Journal of Hydrology* 293: 191-204.

Xue, T., Hartikainen, H., Piironen, V., 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant Oil* 237: 55–61.

Yamasaki, H., Sakihama, Y. and Ikehara, N., 1997. Flavonoid-Peroxidase Reaction as a Detoxification. *Plant Physiology* 115: 1405-1412.

Yang, T. and Poovaiah, B. W., 2002. Hydrogen peroxide homeostasis: Activation of plant catalase by calcium/calmoduline. *PNAS* 6: 4097- 4102.

Yilmaz, G. and Dane, F., 2013. Phytotoxic effects of herbicide Attribut and surfactant BioPower on the root, stem, and leaf anatomy of *Triticum aestivum* ‘Pehlivan’. *Turkish Journal of Botany* 37: 886-893.

Zhang, J. and Kirkham, M. B., 1994. Drought-stress induced changes in activities of superoxide dismutase, catalase and peroxidases in wheat leaves. *Plant Cell Physiol* 35:785-791.

Zhang, Z., Huang, J., Yu, G. and Hong, H., 2004. Occurrence of PAHs, PCBs and organochlorine pesticides in the Tonghui River of Beijing, China. *Environmental Pollution* 130: 249-261.

Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming, W., 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food chemistry* 64 (4): 555- 559.

Zielinski, H., 2000. Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. *J. Agric. Food Chem* 48: 2008-2016.

Zouaoui, A., Cheloufi, R. and Messaadia, H., 2013. Impact of herbicides upon the dynamic of the organic carbon in soils. *Albanian j. agric. sci.* 12 (2): 223-228.

Zraibi, L., Nabloussi, A., Merimi, J., El Amrani, A., Kajeiou, M., Khalid, A. et Serghini Caid, H. A., 2012. Effet du stress salin sur des paramètres physiologiques et agronomiques de différentes variétés de carthame (*Carthamus tinctorius* L.). *Awamia* 125-126.

Annexes

Annexes

Annexe 1.

1. Courbes d'étalonnages des dosages réalisés sur le végétal

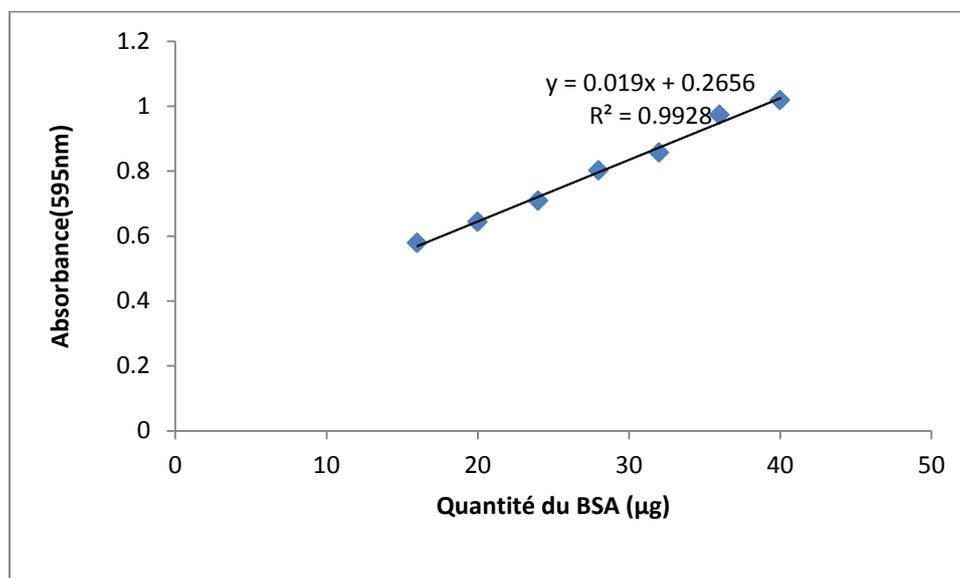


Figure 1. Dosage des échantillons biologiques (protéines foliaires) : courbe de référence (droite étalon) exprimant l'absorbance à 595 nm en fonction de la quantité d'Albumine.

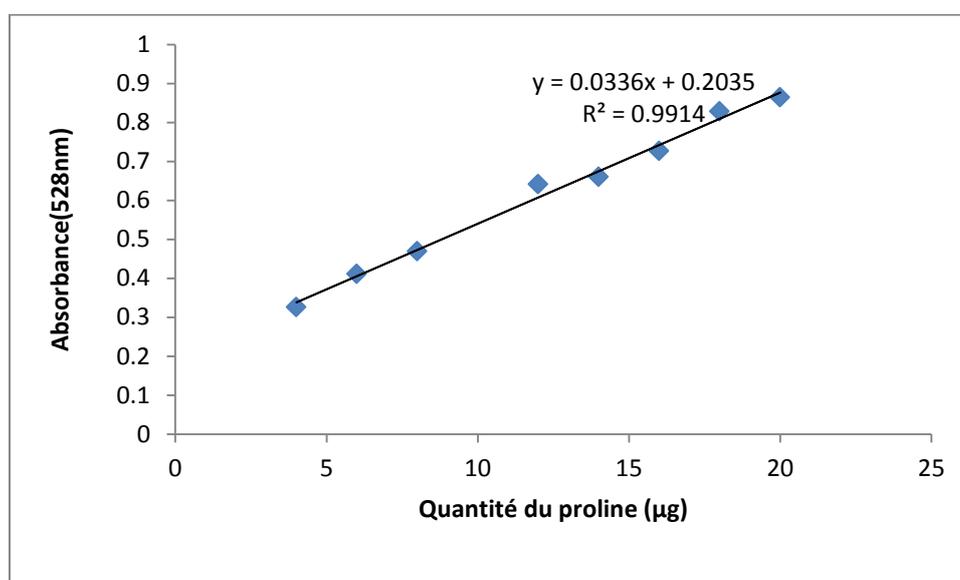


Figure 2. Dosage des échantillons biologiques (Prolines foliaires): courbe de référence (droite étalon) exprimant l'absorbance à 528 nm en fonction de la quantité de la proline.

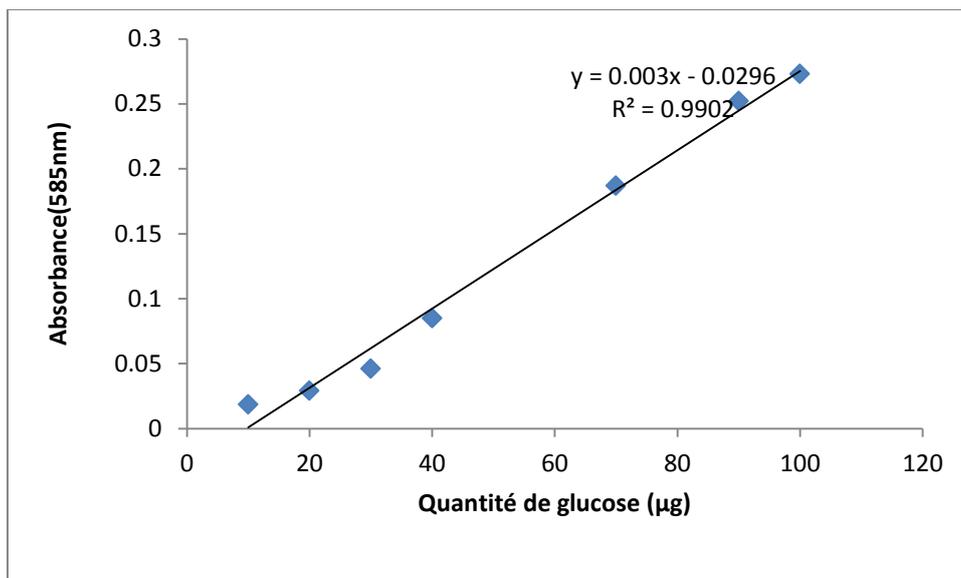


Figure 3. Dosage des échantillons biologiques (sucre foliaire): courbe de référence (droite étalon) exprimant l'absorbance en fonction de la quantité de glucose.

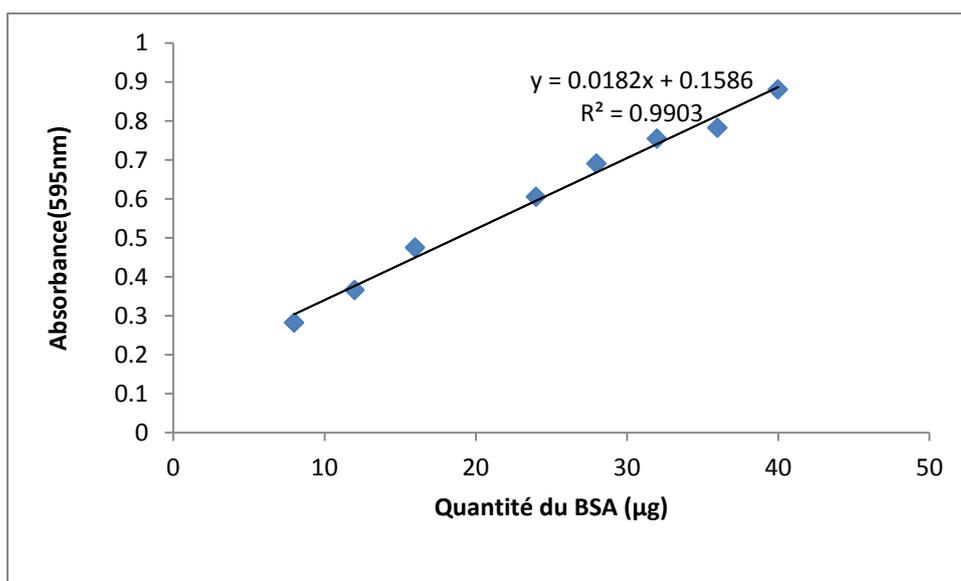


Figure 4. Courbe d'étalonnage de la quantité d'Albumine pour le dosage des protéines enzymatiques.

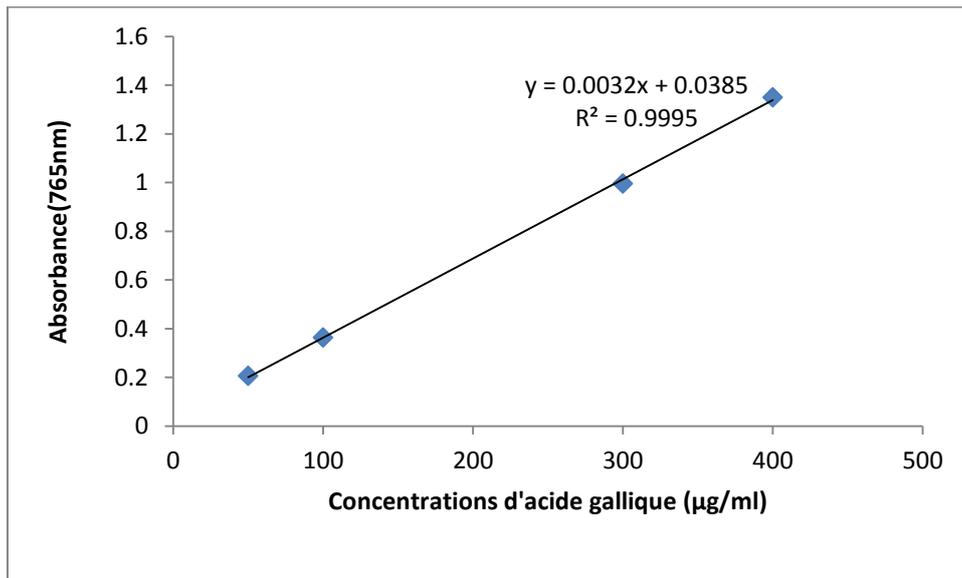


Figure 5. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des phénols totaux.

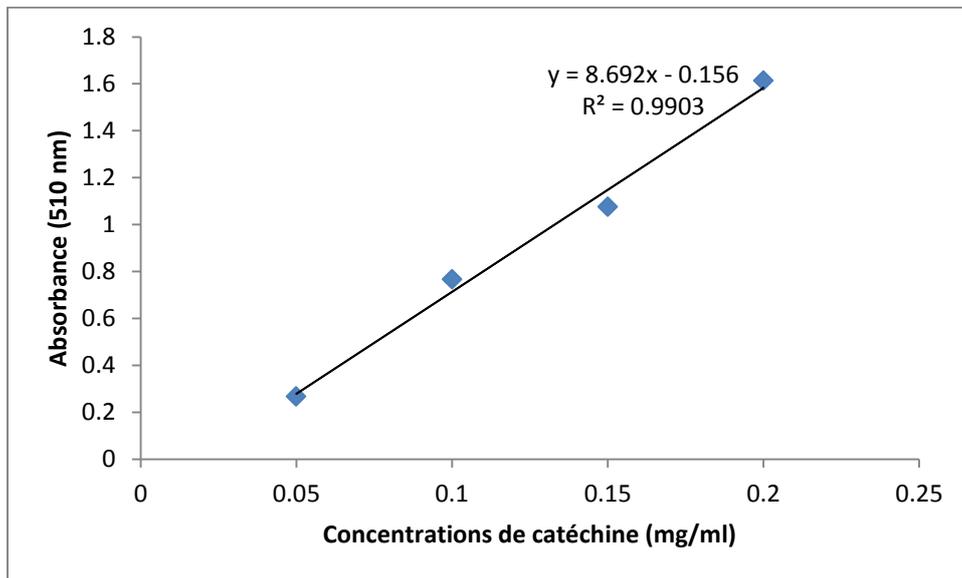


Figure 6. Courbe d'étalonnage de catéchine pour le dosage des flavonoïdes.

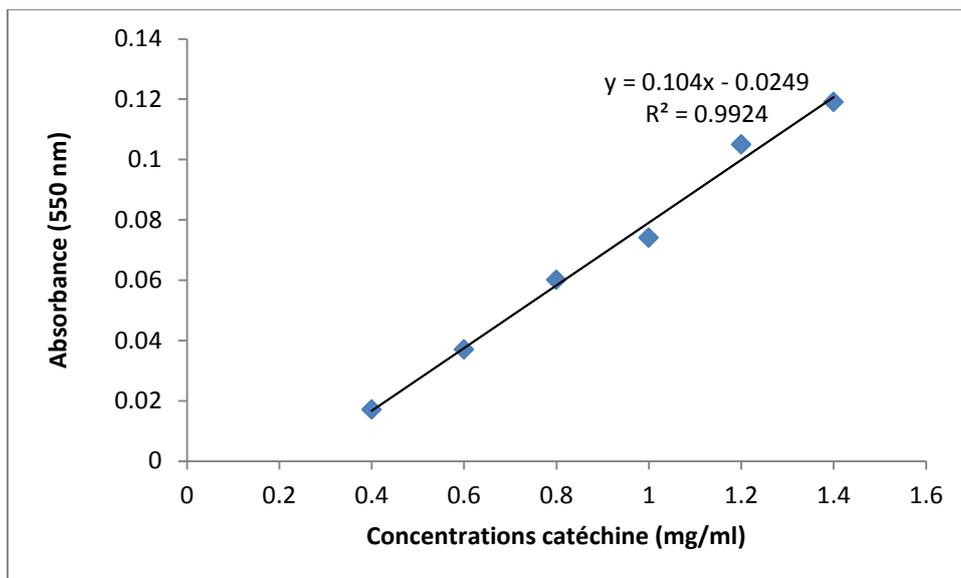


Figure 7. Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des tannins.

2. Courbes d'étalonnages des analyses réalisés sur le sol

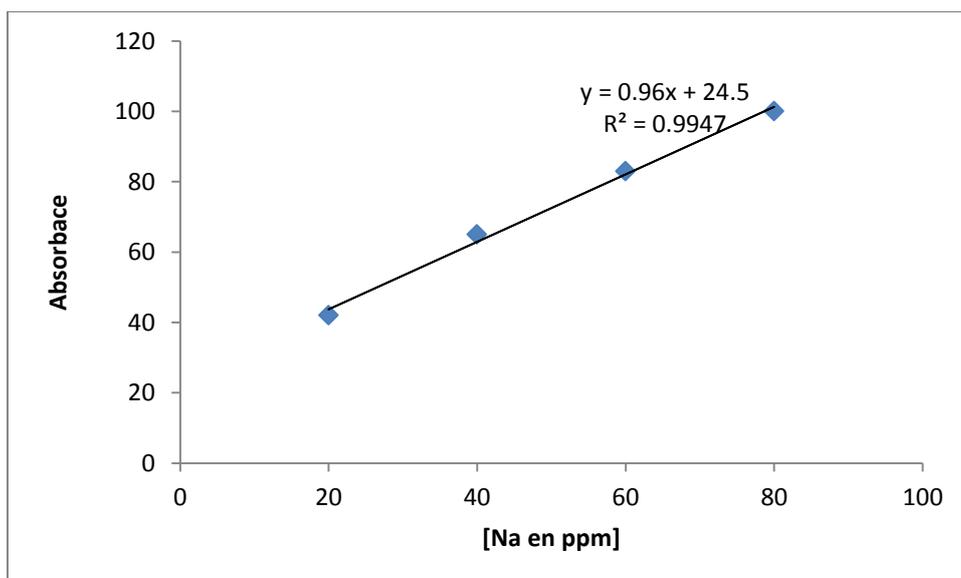


Figure 1. Courbe d'étalonnage du Sodium du sol

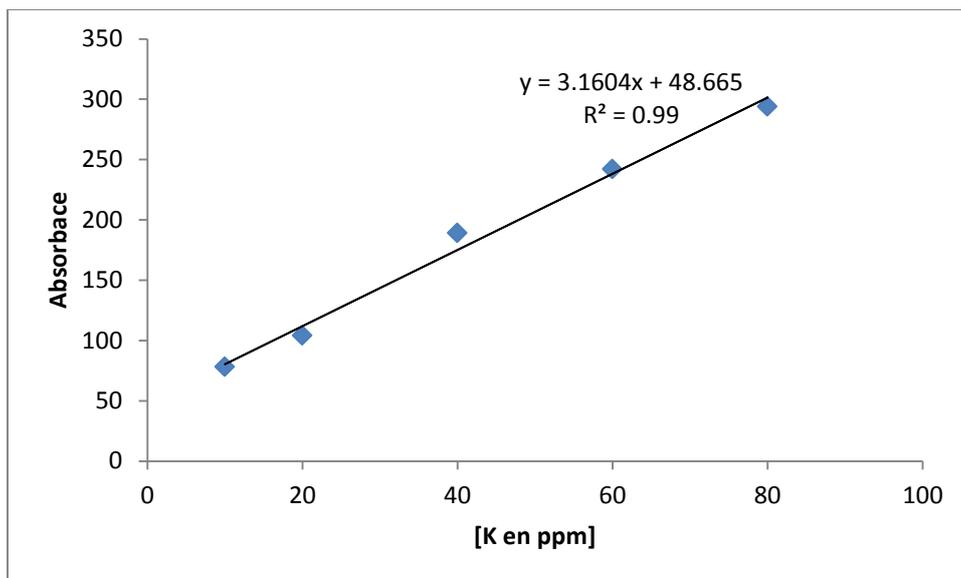


Figure 2. Courbe d'étalonnage du Potassium du sol

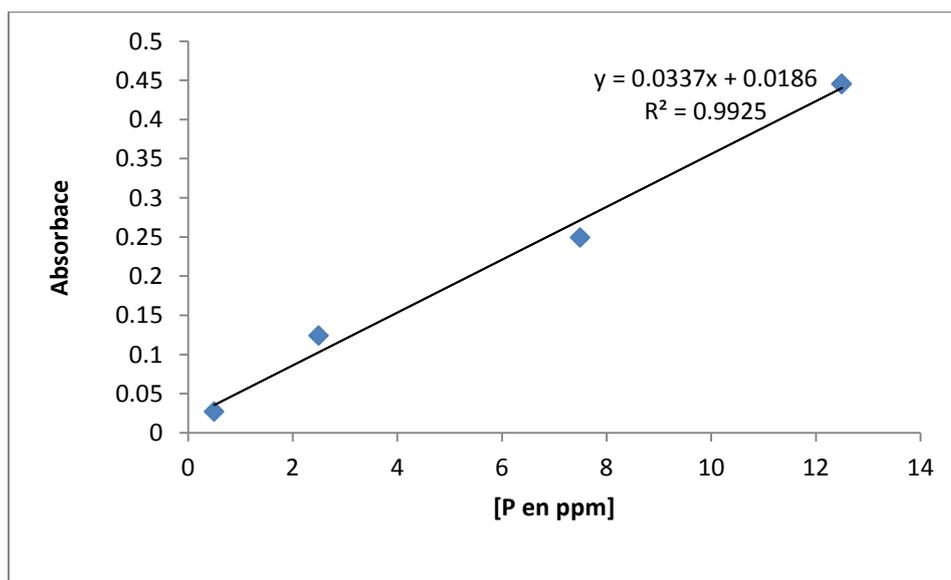


Figure 3. Courbe d'étalonnage du phosphore du sol

Annexe 2. Matrice de corrélations des paramètres mesurés

Tableau 1. Corrélations : N, CE, MO, P, pH et K

	N	CE	MO	P	pH
CE	-0.692 0.039				
MO	-0.115 0.769	-0.024 0.951			
p	0.257 0.505	-0.446 0.229	0.678 0.045		
pH	-0.087 0.824	0.363 0.337	-0.857 0.003	-0.892 0.001	
K	-0.703 0.035	0.849 0.004	-0.166 0.670	-0.684 0.042	0.520 0.151

Tableau 2. Corrélations : Epis/m2, Grains/épi, P.M.G et Rendement

	Epis/m2	Grains/épis	P.M.G
Grains/é	0.708 0.115		
P.M.G	0.019 0.972	-0.049 0.927	
Rendement	0.759 0.080	0.916 0.010	0.325 0.529

Annexe 3. Échelles utilisés pour un classement général des sols

Tableau 1. Échelle de la texture du sol

%d'humidité	Texture
< 23	sableuse
23-29	sablo-limoneuse
29-38	limono-sableuse
38-45	limono-argileuse
45-60	argilo-limoneuse
> 60	argileuse

Humidité du sol (ITA, 1975)

La méthode consiste à sécher l'échantillon de terre à l'étuve à 105°C jusqu'à un poids constant. La différence de poids avant et après séchage correspond à la quantité d'eau.

Mode opératoire

- ✓ Introduire à peu près 20 g de l'échantillon dans une boîte en métal ou en porcelaine de tare connue.
- ✓ Peser la boîte et la tare
- ✓ Sécher à l'étuve à 105°C pendant 15h.

Calcul

Humidité (%) = poids d'eau / poids de terre sèche x 100.

Tableau 2. La nature de terre et le type de la matière organique du sol

Taux de la matière organique %	Terre
< 1	très pauvre
1-2	pauvre
2-4	moyenne
> 4	riche

Tableau 3. La nature de terre selon la teneur de phosphore assimilable

Teneur de phosphore (ppm)	classe
> 15	terre pauvre
15-20	terre moyenne
> 20	terre riche

Annexe 4. Résultats de test de Dunett Pour les paramètres du sol

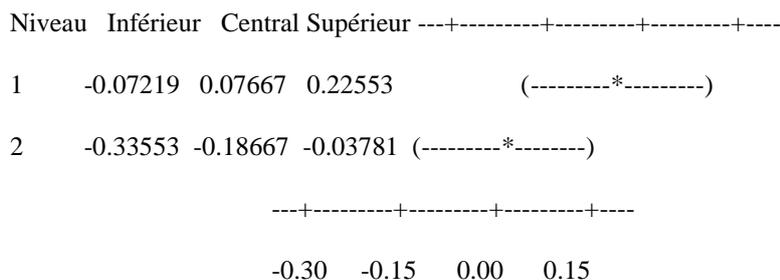


Figure 1. Test de Dunett sur le pH du sol

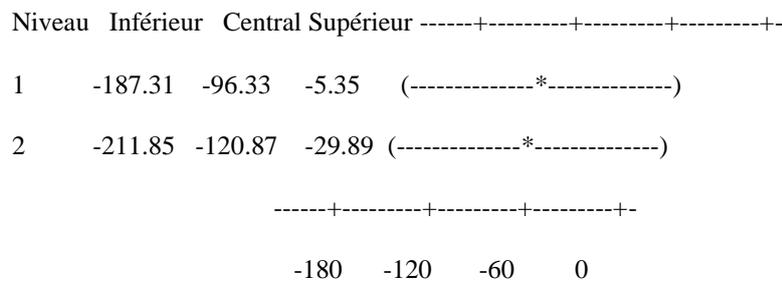


Figure 2. Test de Dunett sur le C.E du sol

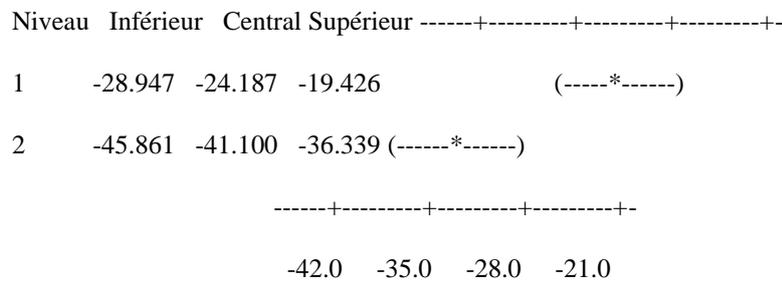


Figure 3. Test de Dunett sur la teneur en K du sol

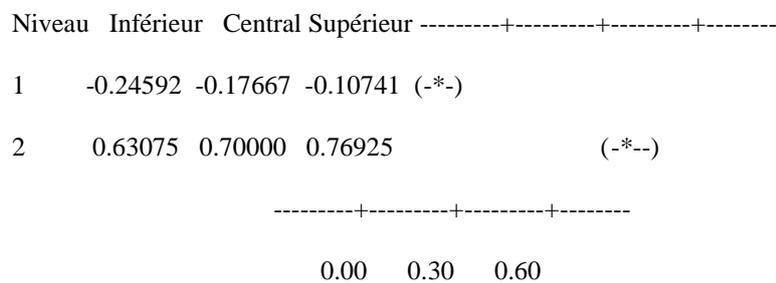


Figure 4. Test de Dunett sur la teneur en P du sol

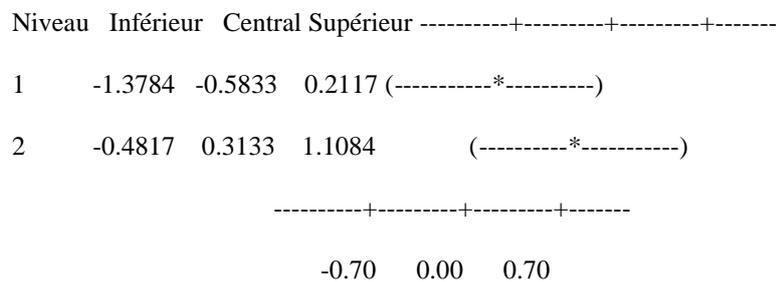
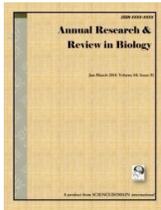


Figure 5. Test de Dunett sur le taux de la matière organique du sol



Physiology and Biochemistry Effects of Herbicides Sekator and Zoom on Two Varieties of Wheat (Waha and HD) in Semi-Arid Region

Souahi Hana¹, Meksem Amara Leila², Grara Nedjoud^{3*}
and Djebbar Mohamed Reda²

¹Department of Natural Science, SNV Faculty, Laarbi Tebessi University, Tebessa12000, Algeria.

²Laboratory of Cellular Toxicology, Depatement of Biology, Badji Mokhtar University, P.B12, Annaba
23000, Algeria.

³Department of Biology, SNV-STU Faculty, 8 Mai 1945 University, Guelma, PBOX 401, 24000,
Algeria.

Authors' contributions

This work was carried out in collaboration between all authors. Author SH designed the study, performed the experiments, analyzed the data, wrote the protocol and wrote the manuscript. Author MAL performed the experiments, wrote the protocol and analyzed the data. Authors GN and DMR analyzed the data. All authors read and approved the final manuscript.

Article Information

DOI: 10.9734/ARRB/2015/9349

Editor(s):

(1) Tomio Yabe, Department of Applied Life Science, Gifu University, Japan.

(2) George Perry, Dean and Professor of Biology, University of Texas at San Antonio, USA.

Reviewers:

(1) Anonymous, Agricultural Institute, ATK, MTA, Hungary.

(2) Anonymous, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.

(3) Wong Ling Shing, Faculty of Science, Technology, Engineering, and Mathematics, Inti International University, Malaysia.

(4) Anonymous, Institute of Soil Science and Plant Cultivation, Poland.

Complete Peer review History: <http://www.sciencedomain.org/review-history.php?iid=794&id=32&aid=6814>

Original Research Article

Received 5th February 2014
Accepted 17th June 2014
Published 5th November 2014

ABSTRACT

Aims: Herbicides are the most effective tool against the major weeds of cultivated plants, and are necessary in maintaining or increasing crop yields. However, most of these molecules are highly toxic for crop. Their massive and repeatedly use can cause adverse effects on all components of the environment. The purpose of this study was to test the toxicity of two herbicides (Sekator and Zoom) on the physiology and biochemistry of hard wheat: *Triticum durum* Desf and common wheat: *Triticum aestivum* L in Tebessa. Both of the areas are considered as semi-arid zone of eastern Algeria.

*Corresponding author: Email: grara120@yahoo.fr;

Methodology: The herbicides were applied at tillering stage in the dose full recommended doses (150 ml /ha of Sekator and 120 g/ ha of Zoom). After eight days of treatment leaves were collected to determine different physiological and biochemical parameters (chlorophyll, soluble sugar and proline).

Results: The results validated by statistical analysis revealed that the levels of chlorophyll *b* and soluble sugars in plants subjected to the effect of two herbicides (Sekator and Zoom) were significantly lower compared to untreated plants and the chlorophyll *a* were higher in the variety Waha treated with herbicide Zoom. There was a significant increase in proline content in plant samples treated with the herbicide Zoom in Hidhab variety.

Conclusion: Finally, the determination of herbicide in the leaves of wheat shows a greater diminution in chlorophyll *b* and soluble sugar for HD variety.

Keywords: Effect; herbicides; oxidative stress; physio-biochemical metabolites; hard wheat; common wheat.

ABBREVIATIONS

ROS: Reactive Oxygen Species, *SO₂*: sulfur dioxide, *cha:* chlorophyll *a*, *chb:* chlorophyll *b*, *FW:* fresh weight, *QA:* quinone *A*, *QB:* quinone *B*, *PSII:* Photosystem *II*, *PSI:* Photosystem *I*, *df:* degrees of freedom, *Mean Square:* mean squared deviations from the mean = variance, *F:* is a ratio of the variance between groups to the variance within groups, the *P* value is determined from the *F* ratio and the two values for degrees of freedom shown in the ANOVA table.

1. INTRODUCTION

The culture of cereal is the dominant crop of the Algerian agriculture. It covers nearly three million hectares in a biennial system dominating fallow cereal [1]. Cereals constitute an important food resource of man and animal [2]. Among the cereal, the hard wheat (*Triticum durum* Desf) is the oldest species and a major part of the humanity food [3]. It sets all over the world, the fifth place after the common wheat, the rice, maize and the barley with a production of more than 30 million tons [4]. The common wheat (*T aestivum*) and the hard wheat (*T durum*) are economically the most important cereal species which adapted to varied natural conditions [5]. So, the low level of farmers technicality associated at the risk of obtaining low yields explain the poor soil preparation, the insufficient protection of the cultures against the predators, diseases and weeds and the low level of use of inputs [6]. To achieve the required standards and the economically viable levels of production, the farmers have to use products phytosanitary to protect crops against weed, pests or fungal diseases [7]. Since 1950, the development of agriculture and research to increase the yields, led to an increasing use of pesticides. These practices caused, further to a massive use, a contamination of the environment and in particular a diffuse pollution of a large number of aquifers on the whole territory [8].

Algeria uses approximately 6 000 in 10 000 tons of pesticides annually [9], approximately 400 phytosanitary products are approved in Algeria [10]. In addition, many organic xenobiotic, such as pesticides can pull an overproduction of Reactive Oxygen Species [11]. This accumulation can be due to an inhibition of the transport of electrons connected to the process of photosynthesis, and consequently to an inhibition of the activity of the photosystems [12,13,14]. Exposure to sulfur dioxide (SO₂), another atmospheric pollutant, also causes an increase of ROS in plant tissues [15]. The analysis of the mechanisms of response to the oxidative stress or xenobiotic interactions oxidative stress can thus allow a better understanding of the processes of response to the xenobiotic [11]. [16] They showed that herbicidal treatments of Metribuzin and Isoproturon + Diflufenican produced smaller plants which can be due to their phytotoxic effect on wheat crop. [17] They showed that under field conditions, Isoproturon applied at 1,000 g/ha 32 d after sowing resulted in wheat grain yield decrease by 65% as compared to the weed-free control. The earlier work indicates that the application of herbicide 2,4-D at emergence (0-72 h treatment) to earlier seedling stage (3-5 leaf stage), boot stage and jointing stage to soft dough stage caused toxic effects on germination, cytological abnormalities (inhabitation of cell division and meristematic cells, chromosome aberrations),

physiological abnormalities (enzymes, proteins and nucleic acids), and morphological parameters abnormalities (unfolded leaves, less tillers, reduced plant height, delay maturation, scattering of heads, sterility of reproductive structure and reduced grain yield) [18].

In this context, the objective of our research was to determine the effects of two herbicides on some physiological and biochemical activities of *Triticum aestivum* and *Triticum durum*. This aim was achieved by evaluation of important physiological parameter such as chlorophyll and biochemical parameters such as carbohydrates, and proline.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Biological Material

The study concerned one variety of hard wheat (Waha) and one variety of common wheat (Hidhab: HD1220).

Waha is characterized by a high grain yield potential, strong ability to translocate carbohydrates stored in the collar of the ear [19] and a precocity of blooming which makes it sensitive to late frost [20].

HD is native of CIMMYT, half-dwarfish, premature, highly productive and is sensitive to the shelling [21]. It is also drought tolerant, highly appreciated by farmers because of its ability to yield high [22].

2.2 Herbicides

Sekator: It is a new selective herbicide for post-emergence control of dicotyledonous weeds in hard and common wheat and it is composed of two active substances (Table 1): amidosulfuron-sodium (100g/l) and 25g/l of iodosulfuron-methyl-sodium [23]. *Sekator* belongs to the sulfonylureas, which are broad-spectrum herbicides used in various cultures and with significant biological activity [24]. They exercise their action through blocking cell division at the meristem, by inhibiting the acetolactate synthase enzyme (ALS), which is crucial in the biosynthesis of essential branched-chain amino acids: valine, leucine and isoleucine [25,26].

Zoom: Is selective herbicide against annual and some perennial weeds dicotyledonous in wheat. It is absorbed by the roots and leaves. It acts primarily by inhibiting the growth of weeds which become necrotic and die within a few weeks [27].

Zoom is a combination of two active substance as shown in (Table 1), the Triasulfuron (4, 1%): $C_{14}H_{16}CN_5O_5S$ and Dicamba (65, 9%): $(C_8H_6C_{12}O_3)$ [28].

2.3 Conduct of the Experiment

The field experiments were conducted at two locations in Tebessa during 2012/2013. The sowing was conducted with an on-line leading seed drill solla, at the rate of 300 seeds /m². The crop was fertilized with 100 kg/ha¹ of urea 46% and sprayed by *Sekator* (150ml /ha) and *Zoom* (120 g/ ha) in March. Leaves of varieties *Waha* treated with herbicide *Zoom* were collected from the plot in El Houdjbat, while all other samples (untreated and treated) of both varieties *Waha* and *HD* were removed from the cultivated site at the plot in Ras El Aaiun (Fig. 1).

2.4 Analyses and Measurements

2.4.1 Chlorophyll a and b content

Chlorophyll was determined by the method of Holden (1975) [31]: 100mg (for each test) collected from the median third of the youngest leaves at tillering stage were ground in the presence of calcium carbonate (to neutralize the acidity of the juice vacuolar) in acetone 80% and approximately 100mg of calcium bicarbonate (CaCO₃). Milling was repeated several times to extract all chlorophyll pigments. The extract was filtered. The optical density of all filtrates was measured at 663 and 645nm. The formula relative to the solvent, to calculate the values of chlorophylls [32] is shown in Equation (1) and (2).

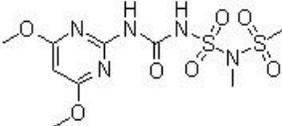
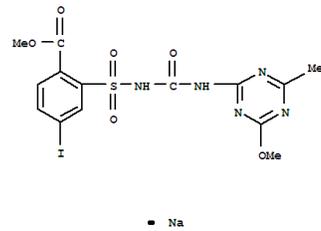
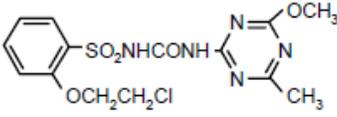
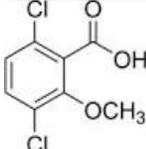
$$\text{Chl a} = 12, 70.\text{DO} (663) - 2,69.\text{DO} (645) \quad (1)$$

$$\text{Chl b} = 22, 90.\text{DO} (645) - 4,60.\text{DO} (663) \quad (2)$$

2.4.2 Proline content

The method used is that of Troll and Lindsley [33], modified by Dreier and Goring [34]. 100 mg (for each test) taken from the middle third of the youngest leaves were immediately weighed and then placed in a test tube. A volume of 2 ml of 40% methanol was added to the sample and the whole was heated for 1 h in a water bath at 85°C. After cooling, 1 ml of the extraction solution was added to 1 ml of acetic acid, 25 mg of ninhydrin and 1 ml some mixture distilled water, acetic acid, orthophosphoric acid at density of 1,7 (120, 300, 80: v / v / v).

Table 1. Chemical structure of active substance of herbicides Sekator and Zoom [29, 30].

Active substance	Chemical structure
Amidosulfuron-sodium	
Iodosulfuron-methyl-sodium	 <p style="text-align: center;">• Na</p>
Triasulfuron	
Dicamba	

The whole was boiled for 30 minutes in a water bath, then cooled and mixed with 5ml of toluene. After vortexing, two phases separate, the upper phase containing the proline was recovered and dehydrated by adding Na_2SO_4 and its optical density was determined at 528 nm. The obtained values were reported on a confirmed solutions ranging from 0 to 0.2 mg/ml of proline standard curve.

2.4.3 Soluble Sugars content

The total soluble sugars (sucrose, glucose, fructose, and their methylated derivatives polysaccharides) were measured by the method of Schields and Burnet [35], which uses the anthrone reagent as in a sulfuric medium. One hundred mg of plant material was macerated for 48 h in 3ml of 80% ethanol at room temperature to ensure the extraction of soluble sugars. At the time of dosing and after evaporation of the alcohol, 20 ml of distilled water were added to the extract, heated in a water bath at 70°C for 30 min, and 2 ml of extract were removed for assay.

The concentration of soluble sugars was determined after reading of the optical density measured with a spectrophotometer at 585 nm.

Three replicates were studied for each assay of chlorophyll, proline and soluble sugar content.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Effect of herbicides Sekator and Zoom on Chlorophyll *a* and *b* Content.

The effects of Sekator on the chlorophyll content (*a* and *b*) are shown in (Fig. 2). The values of the probability of the analysis of variance (Table 2) show the existence of highly significant differences ($p \leq 0.01$) in HD wheat variety and chlorophyll *b*. While in the case of herbicide Zoom (Fig. 3 and Table 3), the comparison of the averages of each chlorophyll (*a*, *b*) and varieties of wheat using the variance analysis shows the highly significant ($p \leq 0.01$) differences in *cha* for Waha variety and in *ch b* in HD variety only.

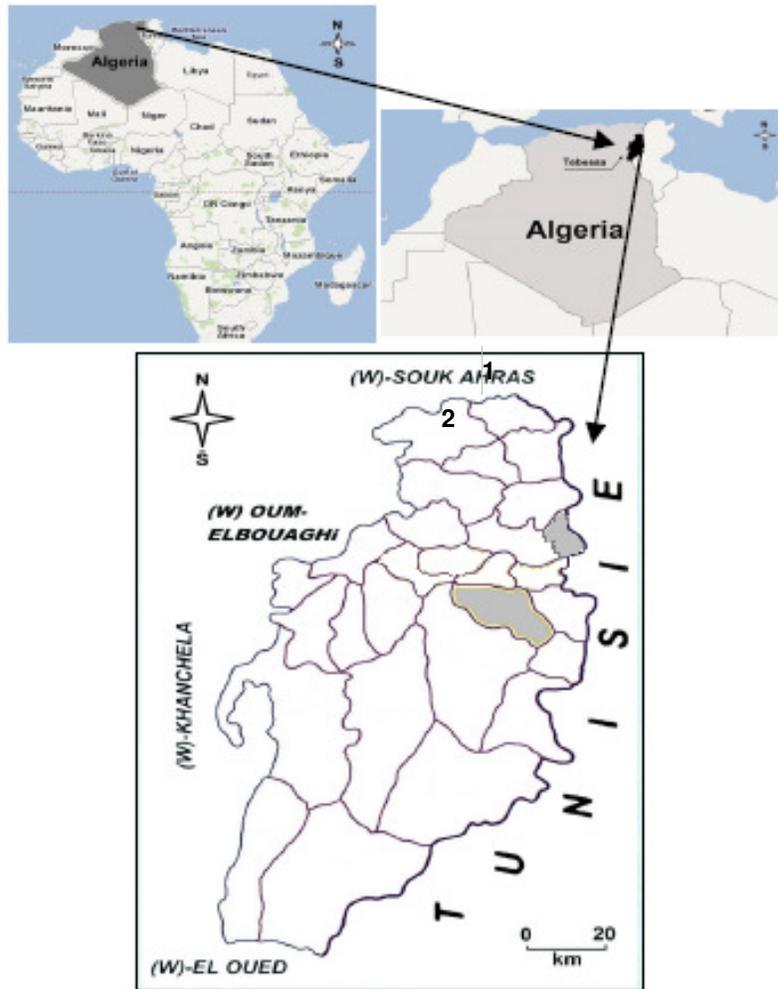


Fig. 1. The sampling sites on the Wilaya and the plain of Tebessa (Algeria)

Site (1): RasElAyoun (Situating in 30 km in the North of Tebessa, and being of the common of El Kouif). Site (2): El Houidjbat (Situating in 29,1 km in the South of Tebessa, and being of the common of El MaLabiou)

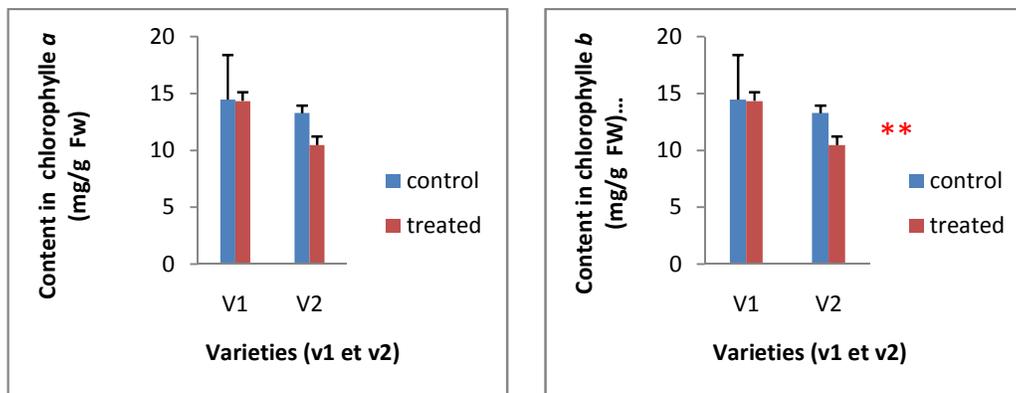


Fig. 2. Effect of Sekator on chlorophyll a and b content (mg/ gFW) in two wheat varieties Waha (V1) and HD (V2)

**Are highly significant ($p \leq 0.01$). NS: not significant ($p > 0.05$)

Table 2. Analysis of variance results for varieties of *Triticum* treated with herbicide Sekator and content of chlorophyll a and b

Chlorophyll	Varieties	statistical parameters			
		df	Mean square	F _{obs}	P
Chla	Waha	1	26	0,01	0,926 NS
	HD	1	19437	2,34	0,201 NS
Chlb	Waha	1	48241	1,39	0,304 NS
	HD	1	302065	22,71	0,009**

Table 3. Analysis of variance results for varieties of *Triticum* treated with herbicide zoom and content of chlorophyll a and b

Chlorophyll	Varieties	statistical parameters			
		df	Mean square	F _{obs}	P
Chla	Waha	1	3151	25,19	0,007**
	HD	1	15813	4,56	0,099 NS
Chlb	Waha	1	25555	1,80	0,251 NS
	HD	1	246341	21,47	0,010**

Most herbicides induce inhibition of Photosystem II activity but their effects on D1 polypeptides appear to be variable. Urea-type herbicides/triazine block the oxidation of QA' (reduced quinone A) in QB (quinone B) binding site, preventing its association with the plastoquinone [36,37], inducing an inhibition of electron transfer between the PSII and PSI. However, these herbicides induce little effect on the protein D1 and photoinhibition of PSII compared to phenolic-type herbicides [13]. The photoinhibition of PSII herbicide urea/triazine is supposed to be associated with a delay in the formation of QA in the reduced state, and low production of singlet oxygen [38,14]. Also in plants and green algae, herbicides can induce an inhibition of the synthesis of chlorophyll by inhibition of protochlorophyllide reductase enzyme [39]. The increase in chlorophyll a of variety Waha treated with herbicide Zoom was also observed with the herbicide "Atrazine". Atrazine stimulates growth and chlorophyll content in green algae (*Chlamydomonas*) and a diatom (*Synedraeus*). Stimulation of growth observed during exposure to low concentrations of toxins might be the result of an adaptation of photosynthetic pigments [40,41]. Rioboo et al.

[42] found that the exposure of the algae to low concentrations of Triazine herbicides, causes an increase in cell density and growth rate after 96 hours. This stimulation of growth, showing the ability of algal cells, such as *Chlorella vulgaris*, to adapt and to resist inhibitory effects of herbicides. On the other hand, these effects disappear at higher concentrations. Gonzalez Barreiro and al. [43] reported as a stimulation of the content of carotenoids and chlorophyll with Atrazine to 48 hours, followed by a reduction of pigment content to 96 hours in the cyanobacterium (*Synechococcus elongatus*). These stimulatory effects have been noted with other species and different herbicides [44,45].

3.2 Effect of Sekator and Zoom on Proline Content.

The effect of Sekator and Zoom on the content of proline ($\mu\text{g/g}$ of Fw) illustrated in (Fig. 4) and the variance analysis for each herbicides and variety of wheat (Table 4), showed significant differences ($p \leq 0.05$) for HD variety treated with Zoom and non-significant differences ($p > 0.05$) for variety Waha and HD weeded by Sekator.

Table 4. Analysis of variance results comparing proline obtained for each herbicides applied to the two varieties of *Triticum*

Herbicides	Varieties	Statistical parameters			
		df	Mean square	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	0,0204	0,54	0,504 NS
	HD	1	0,0048	0,33	0,596 NS
Zoom	Waha	1	0,0006	0,02	0,903 NS
	HD	1	0,1634	13,69	0,021 *

*: Significant differences ($p \leq \alpha = 0.05$). NS: non-significant differences ($p > 0.05$)

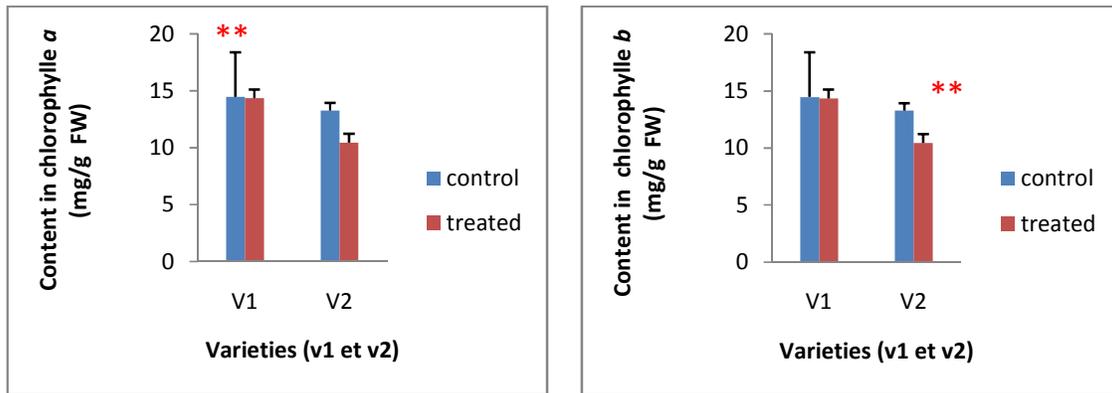


Fig. 3. Effect of zoom on chlorophyll a and b content (mg/ g FW) in two wheat varieties Waha (V1) and HD (V2)

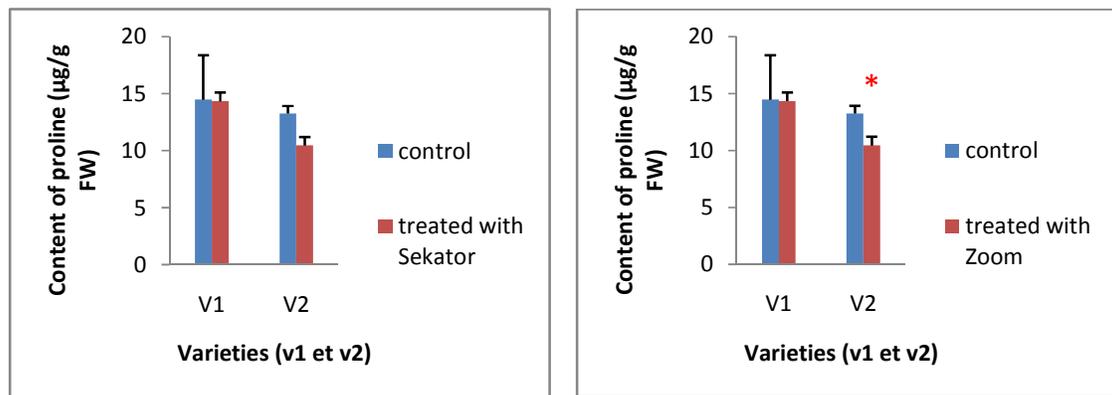


Fig. 4. Effect of Sekator and zoom on proline content (µg / g FW) in two wheat varieties Waha (V1) and HD (V2)

The accumulation of proline is one of adaptive strategies activated by the plant side, the constraints of the environment [46]. While the explanation of the accumulation of proline is different according to the authors [47,48,49,50,51] they showed that the increase in leaf proline content under the stress, followed by the reduction in total chlorophyll pigments (chlorophylls a and b) content. Results of [48] show some proportionality, but inverse, between the contents of accumulated proline and chlorophyll pigments contents lost and the variety that accumulates more proline is also the one who is the fastest decrease in levels of chlorophyll pigments and vice versa. These results suggest the existence of a connection between the likely pathways of biosynthesis of chlorophyll pigments and proline [52]. Competition between these two compounds on their common precursor, glutamate, maybe the cause of this development [53,54].

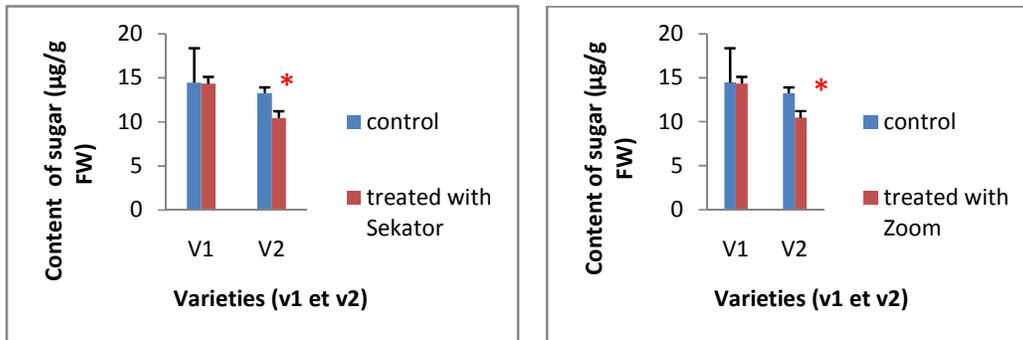
3.3 Effect of Sekator and Zoom on the Sugar Content

The graphical representation of results obtained in the case of wheat treatment by the molecule of herbicide illustrated in (Fig. 5) and ANOVA test (Table 5) revealed no significant differences for all comparisons except for the variety HD treated with Zoom and Sekator where we can observe a significant difference.

Concerning the dosages of total sugars, the results are consistent with those of [55], which recorded a decrease in sugar content in *Chlorella vulgaris* under the effect of the herbicide Diuron. According to the research of [56] on the effect of three Pesticides (Hexaconazole, Bromuconazole and Fluazifop-p butyl) on some biochemical metabolites of the hard wheat: *Triticum durum*, a close correlation between the rate of

Table 5. Analysis of variance results comparing soluble sugar obtained for each herbicide applied to the two varieties of *Triticum*

Herbicides	Varieties	Statistical parameters			
		df	Mean square	F _{obs}	P
Sekator	Waha	1	17,20	03,75	0,125 NS
	HD	1	01,48	11,05	0,029*
Zoom	Waha	1	04,20	01,45	0,295 NS
	HD	1	03,49	12,88	0,023*

**Fig. 5. Effect of Sekator and zoom on sugar content ($\mu\text{g} / \text{g FW}$) in two wheat varieties Waha (V1) and HD (V2)**

carbohydrate and chlorophyll was found. Indeed, carbohydrate derived from photosynthesis process involves molecules of chlorophyll *a*, *b* and carotenoids for collecting light energy which is transmitted to various of the photosynthetic electron transport chain in order to reduce the NADP to NADPH+H⁺ and ATP to phosphorylate ADP+Pi. NADPH and ATP so produced are used to reduce CO₂ in the organic molecules such as carbohydrates. More the number of molecules of chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and carotenoid are important, more the absorbed bright energy is important and the photosynthetic chain can work at the most of its capacities.

4. CONCLUSION

This work shows that oxidative stress exerts in both varieties of wheat. A depressive effect on the physiological and metabolic parameters studied, but it does not affect in the same manner. The degree of affection depends on the intensity of the stress and variety. Indeed, we showed that levels of chlorophyll *a* and *b* are very sensitive parameters, which can provide information on the tolerance of wheat varieties to the toxicity of herbicides. Waha variety showed reduction rate of chlorophyll *b* 17, 79% for Sekator and 29, 45% for herbicide Zoom against reduction rates ranging from 40, 43% for Sekator

and 28, 98% for herbicide Zoom in HD variety. Moreover, it should be noted that the chlorophyll *b* content is more sensitive to the effect of herbicide stress than chlorophyll *a*. The evolution of the proline content in different varieties also confirmed the results previously indicated. Waha variety showed a slight non-significant increase of proline content. In contrast, in the sensible variety (HD), proline content showed a significant increase indicating some metabolic perturbation. Overall, hard wheat appear to be more tolerant than common wheat. However, the order of tolerance varies depending on the evaluation criteria used.

COMPETING INTERESTS

Authors have declared that no competing interests exist.

REFERENCES

1. Laala Z, Oulmi A, Saraoui T, Haddad L, Nouar H, Benmahammed A, Bouzerzour H. Effect of selection biomass and ears on the performance of durum wheat (*Triticum durum* Desf) under semi-arid conditions. Annals of the Faculty of Sciences and Engineering Sciences. 2009;1(4).
2. Karakas O, Gurel F, Uncuoglu AA.

- Assessment of genetic diversity of wheat genotypes by resistance gene analog Est markers. *Genetics and Molecular Research*. 2011;10:1098-1110.
3. Sassi K, Abid G, Jemni L, Dridi-Al Mohandes B, Boubaker M. Comparative study of six varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under water stress. *Journal of Animal & Plant Sciences*. 2012;2:2157-2170
 4. Amokrane A, Bouzerzour H, Benmahammed A, Djekoun A. Characterization of local, European and Syrian durum wheat varieties evaluated in semi-arid altitude area. *Sciences and Technology. Mentouri University. Constantine*. 2002;special number D:33-38.
 5. Alem C, Labhili M, Brahmi K, Jlibene M, Nasrallah N, Filali-Maltouf A. Water and photosynthetic adaptations of durum and common wheat to salt stress. *C. R. Biologies*. 2002;325:1097–1109.
 6. Feliachi K. Development Program cereal in Algeria. *Proceedings of symposium « blé 2000, Enjeux et Stratégies »*. 2000;21-28.
 7. Samuel O, Saint-Laurent L. Prevention guide for users of pesticides in vegetable farming; 2001.
 8. Benmahdi F. Study of the retention of an herbicide in an agricultural soil. *Magister memory. Hadj Lakhdar University of Colonel-Batna*; 2008.
 9. Moussaoui KM, Boussahe R, Tchoulak Y, Haouchine O, Benmami M, Dalachia N. Use, evaluation and impact of pesticides in Algeria. *National School Polytechnic*; 2001.
 10. Bouziani M. Guide medicine and health in Algeria. *The excessive use of pesticides: Serious health consequences. Faculty Of Medicine Oran*; 2007.
 11. Ramel F. Implication of soluble sugars in response to xenobiotic and oxidative stress in *Arabidopsis thaliana*. *Thesis status in Life Sciences and Environment PhD. University of Rennes*; 2009.
 12. Kirilovsk D, Rutherford AW, Etienne AL. Influence of DCMU and ferricyanide on photodamage in photosystem II. *Biochemistry*. 1994;33:3087-3095.
 13. Nakajima Y, Yoshida S, Ono TA. Differential of urealtriazine-type and phenol-type photosystem II inhibitors on inactivation of the electron transport and degradation of D1 protein during photoinhibition. *Plant Cell Physiol*. 1996;37:673-680.
 14. Fufezan C, Rutherford AW, Krieger-Liszkay A. Singlet oxygen production in herbicide-treated photosystem II". *FEES Lett*. 2002;532:407-410.
 15. Dat JF, Lopez-Delgado H, Foyer CH, Scott IM. Effects of salicylic acid on oxidative Stress and Thermotolerance in Tobacco. *Journal of Plant Physiology*. 2000;156:659–665.
 16. Ali M, Sabir S, Mohy-ud-din Q, Ali MA. Efficacy and economics of different herbicides against narrow leaved weeds in wheat. *Intl J Agri Biol*. 2004;6:647-51.
 17. Chhokar RS, Malik RK. Isoproturon resistant *Phalaris minor* and its response to alternate herbicides. *Weed Technol*. 2002;16:116-23; Available: [http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X\(2002\)016\[0116:IRLCPM\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X(2002)016[0116:IRLCPM]2.0.CO;2).
 18. Kumar S, Singh AK. A review on herbicide 2, 4-D damage reports in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Chem. Pharm. Res*. 2012;2(6):118-124.
 19. Belkherchouche H, Fellah S, Bouzerzour H, Benmahammed A, Chellal N. Strong growth, translocation and grain yield of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) Under semi-arid conditions. *Courier knowledge*. 2009;9:17-24.
 20. Mekhlouf A, Bouzerzour H, Benmahammed A, Hadj Sahraoui A. Adaptation of varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf) in semi-arid climate. *Sécheresse*. 2006;17:507-513.
 21. Mekhlouf A, Makhlof M, Bounechada M, Kerougli S, Aït Ouali A. Impact of different cropping systems on the culture of wheat (*Triticum aestivum* L) var HD 1220 in semi-arid conditions. *Agronomy number 1*; 2011.
 22. Benderradji L, Bouzerzour H, Kellou K, Ykhlef N, Brini F, Masmoudi K, Djekoun A. Mechanisms of salinity tolerance in two varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) submitted to salt stress. *Sciences & Technologie*. 2010;32:23-30.
 23. Vilău F, Vilău N, Roşculete CA, Mutafa I. Research concerning wheat crop weed control and herbicide influence on bread quality. *Analele University din Craiova, seria Agriculture Montanology Cadastru*. 2010;40(1).
 24. Tomlin C. *The pesticide manual*, 10th ed.; British Crop Protection Council: Cambridge, UK. 1994;1341.
 25. Tan S, Evans R, Singh B. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. *Amino Acids*.

- 2006;30(2):195-204.
26. Marczewska K, Rola H, Sadowski J. Free amino acids as an index of weeds resistance to chlorsulfuron. *Progr. Plant Protect. Post. Ochr. Rośl.* 2007;47(3):199-205.
 27. Ouazar S. Comparative study of the effect of tillage and conventional tillage on the behavior of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Magister memory. Ferhat Abbas University Setif; 2012.
 28. Zouaoui A, Cheloufi R, Messaadia H. Impact of herbicides upon the dynamic of the organic carbon in soils. *Albanian J. Agric.* 2013;12(2):223-228.
 29. Chnirheb A. Phototransformation herbicides mefenpyr-diethyl and amidosulfuron in homogeneous and heterogeneous environments: Kinetic and structural study. PhD thesis. University Mohammed V Agdal Rabat Faculty of Science; 2012.
 30. Vulliet E, Emmelin C, Grenier-Loustallot MF, Paissé O and Chovelon JM. Simulated Sunlight-Induced Photodegradations of Triasulfuron and Cinosulfuron in Aqueous Solutions. *J. Agric. Food Chem.* 2002;50(5):1081–1088.
 31. Holden M. Chlorophylls in chemistry and biochemistry of plant pigment. 2^{ième} Edition Academie press, New York. 1975;133.
 32. Arnon DL. A copper enzyme is isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology.* 1949;24:1-15.
 33. Troll W, Lindsley J. A photometric method for the determination proline. *J. Biol. Chem.* 1955;215:655-660.
 34. Dreier W, Goring M. Deen flus hohersalzkoncentrationen auf verschiedenphysiologische parameter von maiswurzelnwiss. *Z. der HU. Berlin Nath. Naturwiss R.* 1974; 23: 641- 644.
 35. Schields R, Burnett W. Determination of protein bound carbohydrate in serum by a modified anthrone method *Anal. Chem.* 1960;32:885-886.
 36. Krieger-Liszky A, Rutherford AW. Influence of herbicide binding on the redox potential of the quinone acceptor in photosystem II: Relevance to photodamage and phytotoxicity. *Biochemistry.* 1998;37:17339-17344.
 37. Ikeda Y, Ohki S, Koizumi K, Tanaka A, Watanabe H, Kohno H, Van Rensen JJ, Wakabayashi K. Binding site of novel 2-benzylamino-4-methyl-6trifluoromethyl-1,3,5-triazine herbicides in the D1 protein of photosystem II. *Photosynth. Res.* 2003;77:35-43.
 38. Kirilovsky D, Rutherford AW, Etienne AL. Influence of DCMU and ferricyanide on photodamage in photosystem II. *Biochemistry.* 1994;33:3087-3095.
 39. Mysliwa-Kurdzie1 B, Strzalka K. Influence of Cd(II), Cr(VI) and Fe(III) on early steps of deetiolation process in wheat: fluorescence spectral changes of protochlorophyllide and newly formed chlorophyllide". *Agrie. Eeosyst. Environ.* 2005;106:199-207.
 40. Hatfield P, Guikema M, James A, Wdith STJ, Gendep B, Steven M. Characterization of the adaptation response of *Anacystis nidulans* to growth in the presence of sublethal doses of herbicide. *Current Microbiology.* 1989;18:369-374.
 41. Gustavson K, Wångberg SA. Tolerance induction and succession in microalgae communities exposed to copper and atrazine. *Aquatic Toxicology.* 1995;32:283-302.
 42. Rioboo C, Gonzalez O, Herrero C and Cid A. Physiological response of freshwater microalga (*Chlorella vulgaris*) to triazine and phenylurea herbicides. *Aquatic Toxicology.* 2002;59:225-235.
 43. Gonzalez BO, Rioboo C, Cid A, Herrero C. Atrazine-induced chlorosis in *Synechococcus elongates* cell/s. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology.* 2004;46:301-307.
 44. El-Dib M, Shehata A, Abou-waly HF. Response of freshwater algae (*Scenedesmus* sp.) to phenylurea herbicides. *Water, Air and Soil Pollution.* 1991;55:295-303.
 45. Franquelra D, Cio A, Torres E, Orosa M, Herrero C. A comparison of the relative sensitivity of structural and functional cellular responses in the alga *Chlamydomonaseu gametos* exposed to the herbicide paraquat. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology.* 1999;36:264-269.
 46. Belkhodja M. Proline response of *faba bean* (*Viciafaba* L.) under salt stress. *Egypt J of Agric Res.* 2000;78(1):185-195.
 47. Valentovic P, Luxova M, Kolarovic Gasparikova O. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relation in two maize cultivars. *Environment.* 2006;4:186-191.
 48. Tahri E, Belabed A, Sadki K. Effect of

- osmotic stress on the accumulation of proline, chlorophyll and mRNA coding for glutamine synthetase in three varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Bulletin of the Scientific Institute. Rebat. 1997;21:81-89.
49. Cheikh M'hamed H, Abdellaoui R, Kadri K, Ben Naceur M, BelHadj S. Evaluation of salt stress tolerance of some barley accessions (*Hordium vulgare* L.) cultivated in Tunisia. Sciences & Technologie. 2008;28:30-37.
50. Zraibi L, Nabloussi A, Merimi J, El Amrani A, Kajeiou M, Khalid A, Serghini Caid H. Effect of salt stress on physiological and agronomic parameters of different varieties of carthame (*Carthamus tinctorius* L.). Al Awamia. 2012;125-126.
51. Laala A, Rached-kanouni M, Alatou D. Seasonal temperature variations and their impact on the ecophysiological behavior of Alep pine seedlings. European Scientific Journal. 2013;24:1857 – 7881.
52. Meksem L. Effects of two fungicides: Flamenco SC and Tilit 250 EC on the physiology, growth and energy metabolism of the roots of *Triticum durum* Desf: GTA varieties and Vitron. PhD thesis. Badji Mokhtar Annaba University; 2007.
53. Bengston C, Klockare B, Klockare R, Larsson S, Sundquist C. 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 Physiol. 1978;43:205-212.
54. Reddy PS, Veeranjanyulu K. Proline metabolism in senescing leaves of horsgram (*Macrotyloma uniflorum* Lam). J. Plant. Physiol. 1991;137:381-383.
55. Fayez KA, Abd- Elfattah Z. Alteration in growth and physiological activities in *Chlorella vulgaris* under the effect of photosynthetic inhibitor diuron. International Journal of Agriculture & Biology. 2007;4:631–634.
56. Bordjiba O, Ketif A. Effect of three pesticides (Hexaconazole, Bromuconazole and fluazifop-p-butyl) on some metabolites Physio-Biochemical durum wheat: *Triticum durum* Desf. European Journal of Scientific Research. 2009;2:260-268.

© 2015 Hana et al.; This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Peer-review history:

The peer review history for this paper can be accessed here:
<http://www.sciencedomain.org/review-history.php?iid=794&id=32&aid=6814>



INNSPUB

RESEARCH PAPER

Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)

ISSN: 2220-6663 (Print) 2222-3045 (Online)

Vol. 7, No. 5, p. 157-167, 2015

<http://www.innspub.net>**OPEN ACCESS**

Sulfonylureas effect on soil chemical properties and yield crop in Semi-arid Region of Algeria

Souahi Hana^{1,2*}, Meksem Amara Leila², Meksem Nabila², MaalemSouhail¹, Djebar Mohamed Reda²

¹Laboratory of Plant Biology, Department of Biology, Faculty of Sciences, University of LaarbiTebessi, Tebessa, Algeria

²Laboratory of Cellular Toxicology, Department of Biology, Faculty of Sciences, University of BadjiMokhtar, Annaba, Algeria

Article published on November 30, 2015

Key words: Pollution, herbicide, soil, Tebessa region, chemical parameter.

Abstract

Pollution by pesticides and organic pollutants is mostly perceived through their presence in water and food. However, many pollutants pass through the soil where their conduct will determine the manifestation of their pollutant character. Reducing their environmental impact requires an understanding of the processes they undergo in the soil. Thus, the physico-chemical composition of the soil, temperature and the richness of the microflora are so many and various factors that contribute to the degradation of herbicide residues. The aim of this study was to investigate the interaction of Sulfonylureas herbicides with soil chemical properties in semi-arid zone of Algeria. The treatments were carried out for a stage 3-4 leaves; at company recommended rates of 150 ml/ha for Sekator while recommended rate of 120g/ha was used for Zoom treatment. Variance analysis shows no significant effect of Na content of a soil polluted with both herbicides compared to the control. Sekator herbicide treated soils showed significant decrease in conductivity, level of the organic matter, content of available phosphorus and potassium, whereas soil treated with Zoom shows a very highly significant increase in the content of available phosphorus ($p \leq 0.001$) and very highly significant decrease in the potassium content. This study has elucidated the ability of herbicides to chelate with soil chemical properties thereby reducing their availability for uptake by plants. It has also been shown that soil minerals are utilized by plants and microbes during microbial degradation.

*Corresponding Author: Souahi Hana ✉ s.hanauniv@yahoo.fr

Introduction

Weeds are considered notorious yield reducers that are, in many situations, economically more important than insects, fungi or other pest organisms (Savary *et al.*, 2000). Presence of weeds reduces the photosynthetic efficiency; dry matter production and distribution to economical parts there by reducing sink capacity of crop resulting in poor grain yield (Patel *et al.*, 2004). Unlike some environmental problems, once invasive plants become established, they often cannot be controlled by simply removing the initial mechanisms for invasion such as human-induced disturbance or by restoring natural processes such as fire. Instead, invasive plants must be controlled directly by using, either alone or in combination, herbicide treatments, manual removal, grazing, burning, biological control agents, or other methods capable of suppressing the target species in its invaded context (Petroff and Sheley, 1999).

The use of herbicides for combating unwanted weeds in the crop fields has been increased steadily. During the application of the herbicides, a large portion of these chemicals accumulates in the top layer soil (0–15 cm) where most of the microbiological activities occur. Microorganisms degrade a variety of carbonaceous substances including the accumulated herbicides in soil to derive their energy and other nutrients for their cellular metabolism (Debnath *et al.*, 2002, Das *et al.*, 2003). The enormous variety of herbicides commercially available today makes it impossible to review all of them. Thus, this work will focus on some of the herbicides most used in the (semiarid) region of Algeria and worldwide (i.e., Sulfonylurea and Dicamba), based on our own research data.

Sulfonylurea herbicides (SUHs), introduced in 1982 by the Dupont Corporation, were developed for weed control in cereal crops all around the world. Due to their low application rates (in the range of 10–100g/ha), unprecedented herbicidal activity and low mammalian toxicity ($LD_{50} < 4000$ mg/kg). Sulfonylurea compounds, which are

composed of a sulfonyl structure linked to a urea group, represent one of the largest classes of herbicides. However, the relatively high water solubility of these herbicides may result in their leaching into deeper soils and potentially entering surface waters (Fang *et al.*, 2010). SU herbicides are weak acids (pK_a values ranging between 3 and 5) and are highly water soluble ($\log K_{ow} < 1$). Their half-lives in soil vary from 5 to 70 d depending on the herbicide, soil pH and other soil characteristics (Cessna *et al.*, 2006, Hollaway *et al.*, 2006). In soil, they are degraded either by hydrolysis or microbial activity and the degradation products of some SU may persist in soil for years (Rosenbom *et al.*, 2010).

The fate of herbicides such as that of any organic molecule released into the environment is determined by their physico-chemical characteristics. The solubility of herbicide is important in predicting its behavior in water and its mobility in soil. Agrochemical water solubility is a function of temperature, pH and ionic strength and is affected by the presence of other organic substances such as dissolved organic matter (Pierzynski *et al.*, 2005).

The objective of the present study is to determine the effect of some herbicides (Sekator and Zoom) at their recommended field rates (150 ml/ha and 120g/ha respectively) on availability of sodium, potassium and phosphorus, also level of the organic matter in the soils as well as yield of the wheat crop. These herbicides are frequently used by the farmers in their wheat fields to eradicate the unwanted weeds for better crop growth.

Materials and methods

Area description

The present study was carried out in the agricultural field of wheat located in Ras El Ayoun situated in 30 km in the North of Tebessa, and El Houidjba situated in 29, 1 km in the South of Tebessa (Fig 1). The study area is near the city of Tebessa in eastern Algeria, is among the poorest and remotest regions in the country. This area lies in the semiarid region of

Algeria and is susceptible to the various threats which surround both growing urban areas as well as developing agricultural areas. The city of Tebessa and the surrounding villages (Bekkaria, Hammamet) have seen a great deal of growth in the past decade, with the establishment of new industries and farms.



Fig. 1. Map showing the study area in semi-arid region of Algeria with blue is the study area.

Annual precipitation in the study area ranges between 200 and 350 mm, and thus the area is considered to be a semi desert area. Temperatures can rise in the summer to 45 °C. This situation of dryness accentuates the drawdown of water resource especially during the last decade because the renewal of this resource is very weak. The dry climate, the atmospheric dust, and low intensity of precipitation can also affect the groundwater quality generally causing increased salt content. The Gausson and Bagnoulsdiagram (Fig 2) reveal a dry period from mid-May to mid-October.

Sampling of soil

Soil samples were collected after 20 days of herbicides application from each replicated plot by uprooting the plants at random and keeping the root system intact as much as possible. The soil crumbs adhering to the root surface were carefully collected

and a composite soil sample for each plot was prepared. After removing the plant roots, the soil samples were then ground to pass through a 2 mm sieve width mesh to remove stones and plant debris, after which they were stored in plastic zipper bags for further analysis.

Choice of herbicides

The herbicides used in the experiment were commonly used in the agricultural fields employed by farmers to fight against weeds, which were obtained from a local agricultural store. The herbicides used were:

Sekator, it is a new selective herbicide for post-emergence control of dicotyledonous weeds in hard and common wheat and it is composed of two active substances (Fig 3): Amidosulfuron-sodium (100g/l) and 25g/l of Iodosulfuron-methyl-sodium (Viläuet *al.*, 2010).

Zoom, its fast effect is followed by leaves destruction and roots of weeds. Chemically, it has the following composition: Triasulfuron (4,1%) and Dicamba (Zouaouiet *al.*, 2013).

Soil treatments

The treatments were carried out at tillering stage for 3-4 leaves, at company recommended rates of 150 ml/ha for Sekator while recommended rate of 120g/ha (Zoom powder) was used for Zoom treatment.

Chemical analysis of soil

A total of 3 soil samples were collected from the study site at Tebessa. All samples were air-dried for two weeks then crushed manually and sieve to pass 2 mm mesh sieve.

For chemical analysis: The soil pH and electrical conductivity were measured with distilled water using a pH meter (1:5), available sodium content and available potassium content, were estimated with flame photometer method (Jackson, 1973). The stock

standard solution contains 1000 ppm/1000 ppm of sodium and potassium. From this stock standard solution 100, 80, 60, 40, 20 ppm solution of lower concentration was prepared. Aspirate Distilled Water and set the read out 00 by adjusting the zero control. Aspirate the standard solution that has higher concentration adjust the nobe to 100. For optimum performance the instrument should be allow 15 min to warm up during this warm up period a blank demonized water sample should be aspirated. Emissions were noted for all standard solution. Lastly water sample solutions were aspirated and emission was noted.

Organic carbon was determined by Anne method (BonneauandSouchier, 1994) by oxidation of carbon with excess potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) in sulfuric acid medium (heat source). The amount of non-consumed dichromate was measured back by Mohr's salt.

The rate of organic matter (OM) was estimated by

multiplying the percentage of carbon by 1.72 (Mathieu and Pieltain, 2003).

Soil samples were analyzed for available P in sodium bicarbonate extract colorimetrically(Olsen and Dean, 1982).

Statistical analysis

The experimental assays used to results were repeated at least three times, under the same conditions and yielded the same results. To discriminate significant differences, all measurements were subjected to an Analysis of Variance (ANOVA) test (defined as $P < 0.05$). Data are shown as the mean \pm relative standard. The correlation studieswere made to reveal the association among the variables in the investigation (Gomez and Gomez, 1984).

Results and discussion

The analyses of variance for the different parameters are reported in Table 1, where the pH, EC, Ka, K, P and OM represent the sources of variation.

Table 1. Analysis of variance results comparing -chemical parameters obtained for herbicides applied to the soil of *Triticum* culture.

Source	statistical parameters			
	df	Mean Square	F _{obs}	P
pH	2	0,05503	13,57	0,006 **
EC	2	12245	8,08	0,02 *
Na	2	3,373	3,52	0,097 NS
K	2	1280,13	308,64	0,000***
P	2	0,644878	734,67	0,000***
OM	2	0,621	5,37	0,046 *

*: Significantdifferences ($p \leq \alpha = 0.05$).
 **: highly significant differences ($p < \alpha = 0, 01$)
 ***: very highly significant differences ($p < \alpha = 0,001$)
 NS: non-significantdifferences ($p > 0.05$)

TheHerbicide effects in soil chemical properties were significantly different between treatment variations. Soil pH decreased significantly ($p < \alpha = 0, 01$) from 8.32 up to 8.13 in the soil treated with Zoom herbicide, while soils treated withSekatorshowed no significant change in pH after treatment (Fig 4). Upon

treatment with herbicides there was augmentation in sodium ion (Na) concentration compared to the control (Fig 5) but the Na concentration increased insignificantly ($p > 0.097$). Total Na concentrations increased progressively to 2.31 ppm and 4. 15 ppm in the soils treated with Sekator, whereas it increased

from 2.31 ppm to 4.14 ppm relative to Zoom treatment.

Herbicides decreased significantly ($p < 0.001$) the total K concentration immediately after treatment (Fig 6), which decreased progressively from 52.39 ppm to 28.20 ppm in the soils treated with Sekator, and continued to decrease in the soils treated with Zoom

from 52.39 ppm to 11.29 ppm. Conductivity (Fig 7) significantly decreased immediately after herbicides treatments ($p = 0, 02$) and the decrease ranged from 254 $\mu\text{s/cm}$ to 157.67 $\mu\text{s/cm}$ and 254 $\mu\text{s/cm}$ to 133.13 $\mu\text{s/cm}$ for Sekator treatment and Zoom treatment, respectively. So exchangeable K followed a similar pattern as conductivity.

Table 2. Pearson correlation coefficient of soil properties in eastern Algeria.

Parameters	N	CE	MO	p	pH
CE	-0.69	-	-	-	-
MO	-0.115	-0.024	-	-	-
p	0.257	-0.446	0.678	-	-
pH	-0.087	0.363	-0.857	-0.892	-
K	-0.703	0.849	-0.166	-0.684	0.520

Significant 'r' at $p < 0.05$ level.

Level of the organic matter (OM) reduced significantly upon treatment with the herbicides Sekator compared to the control (Fig 8). Relative to the treatment, OM decreased by 67, 56%. However, they increased significantly when treated with herbicide Zoom used in this study compared to the control by 17, 29%. Similar to the results obtained for content of available phosphorus (P) (Fig 9). The available phosphorus significantly increased by 10.49% in the soils treated with Zoom herbicide and then significantly decreased by 2, 7% in relative to Sekator treatment. The Herbicide effects in OM and available P of soil were significantly different between treatment variations.

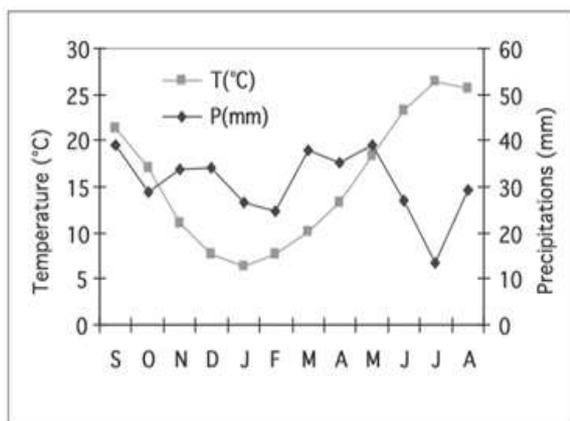


Fig. 2. Gausson and Bagnouls diagram of the study area (1972-2008).

There were significant correlation ($p < 0.05$) in 26.6% (Table 2) of the soil property pairs and that was reasonable for identification of underlying factor pattern.

This result was expected based on the characteristics of the study area indicating significant correlation among soil properties that bear relationship with one another. The established trend indicated the possibilities of grouping soil properties into similarity factors based on their correlation patterns.

Exchangeable K and available P significantly correlated with the highest number of soil properties (each correlated with 3 other soil properties), then closely followed by Na, OM, pH and EC that significantly correlated with EC and pH, available P and pH, OM and available P, Na and K respectively. The strongest negative significant ($p < 0.01$) correlations were between available P and pH ($r = -0.89$), OM and pH ($r = -0.88$), whereas the strongest positive significant correlations were between EC and K ($r = 0.85$).

After an herbicide has been applied to the soil, it has one of three fates. It can either remain dissolved in

the soil solution, be adsorbed by smaller soil colloids or be absorbed by plant roots and shoots (Fig. 10). Herbicide that is adsorbed by soil is “tied-up” or

bound to the soil and is not readily available for weed absorption (Kurt *et al.*, 2011).

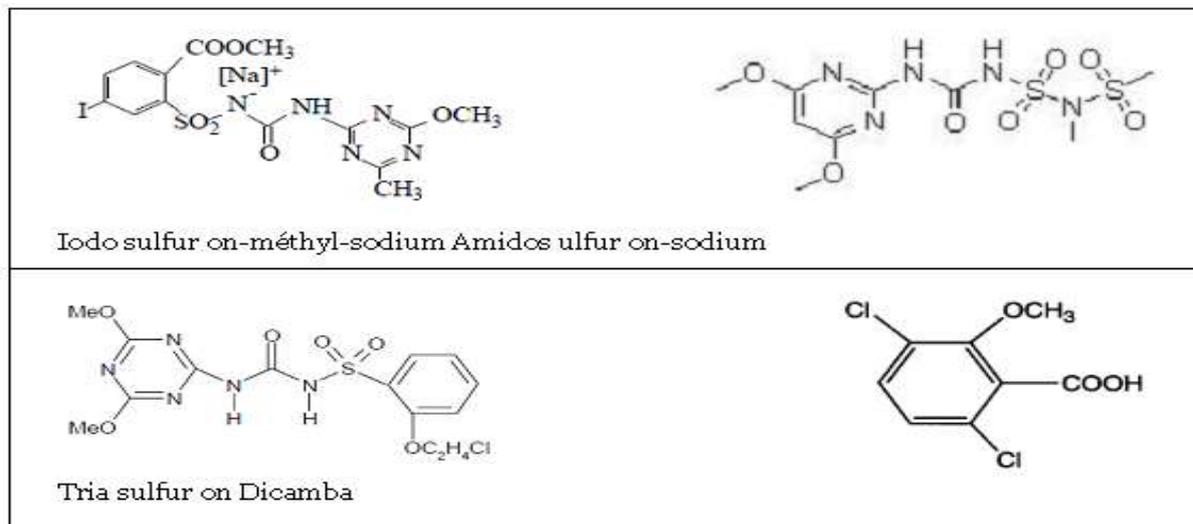


Fig. 3. Molecular structures of the pesticides considered(Vulliet *et al.*, 2002).

Based on the results, soil chemical properties did differ significantly under different treatments. Also increasing content of available phosphorus in soil results in the released of ions H^+ by roots that dissolved the natural phosphates by making assimilable to the plant and in the case where phosphorus is not collected by the roots it is reacted with the various component of the soil and thus it is found adsorbed (Hinsinger, 2001).

irrigation causing the transfer of phosphorus to unavailable forms (Adil, 2012).It is known that the adsorption of phosphorus decreases with increasing pH to oxides or pure argillaceous minerals (Muljadi *et al.*, 1966,Hingston *et al.*, 1972). Research has shown that for soil rather different mineralogical compositions but differentiated by pH, there is an increase in adsorption with decreasing pH (Lopez-Hernandez and Burnham 1974,Parfitt, 1977, Friesen *et al.*, 1980,Eze and Loganathan, 1990).

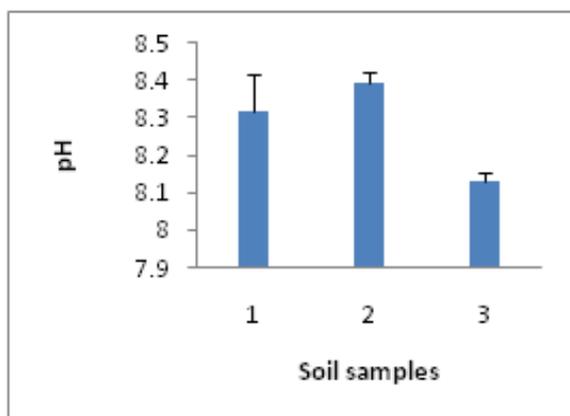


Fig. 4. Effect of herbicides in pH soil samples (1: Control, 2: Sekator treated soil, 3: Zoom treated soil).

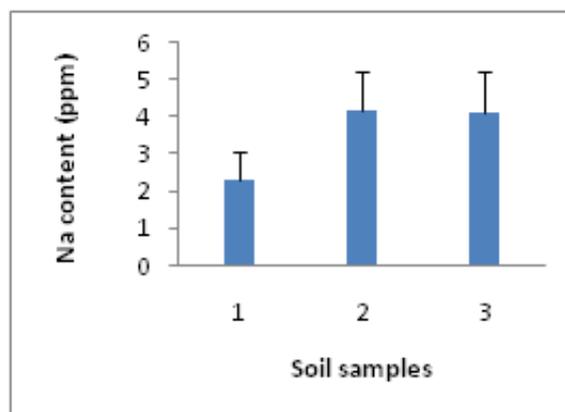


Fig. 5. Effect of herbicides in Na content soil samples (1: Control, 2: Sekator treated soil, 3: Zoom treated soil).

Decrease of the amount of assimilable phosphorus is probably due to the immobilization of reacting phosphorus with Ca^{2+} ions to a non-draining

For all treatments, the amounts of exchangeable

potassium decrease according to Cengizet *al.*,(2001). Under salt stress, potassium from the external environment is highly mobilized to the plants, explain the reduction of soil K levels under high levels of NaCl. Maalem (2011) found that the soil K decreases significantly, indicating its probable translocation to the plant, for it is in the case of salt stress.

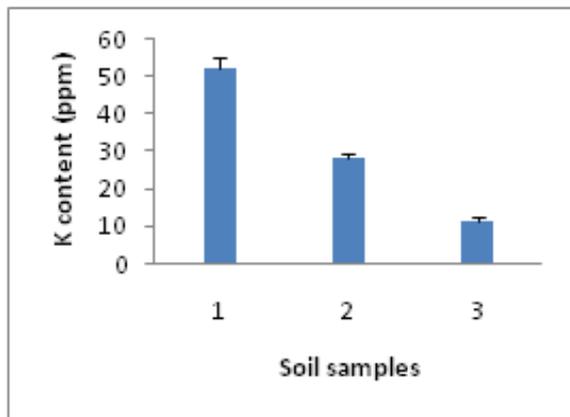


Fig. 6. Effect of herbicides in K content soil samples (1: Control, 2: Sekator treated soil, 3: Zoom treated soil).

In the similar way, the greater solubilization of insoluble phosphates by the increased phosphate solubilizing microorganisms as well as higher content of organic acids present in the root exudates of the growing plants resulted greater release of available phosphorus in the rhizosphere soil of rice. As compared to control, the increase in available phosphorus was highest under oxyfluorfen (23.2%) followed by fluchloralin (20%) and oxadiazon (14.7%), respectively (Das and Debnath, 2006).

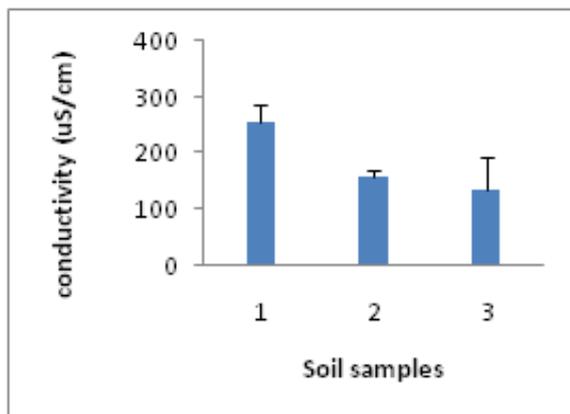


Fig. 7. Effect of herbicides in conductivity soil samples (1: Control, 2: Sekator treated soil, 3: Zoom treated soil).

Soil electrical conductivity (EC) is useful as a relative measure of the total quantity of ions in the soil solution. Soil EC has no direct effect on crop growth or yield, but it is frequently observed that there are close relationships between EC and a variety of other soil properties that are highly related to crop growth and yield (Olson, 2000).

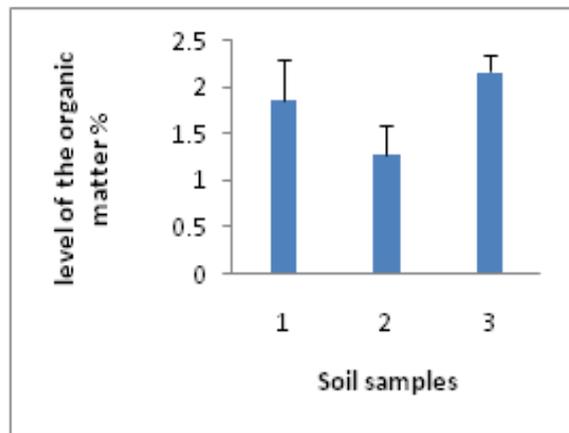


Fig. 8. Effect of herbicides in OM of soil samples (1: Control, 2: Sekator treated soil, 3: Zoom treated soil).

Polyvalent (Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} and Mg^{2+}) or monovalent (Na^+ , K^+) cation affect the solubility of organic matter (Baham and Sposito, 1994). Chemical reactions between anionic functional groups of organic molecules and solution cations can reduce the surface charge density, alter structural conformation of the adsorbed species and cosequently reduce solubility. At high concentrations of ions in solution, these process increase and the solubility of organic matter is reduced by flocculation (Tipping and Woof, 1990).

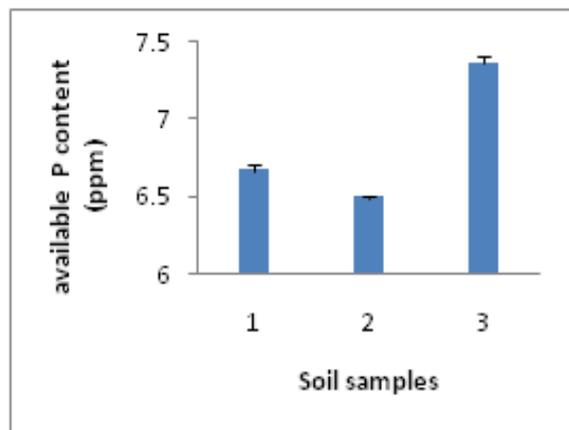


Fig. 9. Effect of herbicides in available phosphorus of soil samples (1: Control, 2: Sekator treated soil, 3: Zoom treated soil).

The nature of dissolved organic matter influences the adsorption and desorption of dimethuron, atrazine and carbetimide (Barriuso *et al.*, 1992). Increased adsorption of less soluble atrazine and dimethuron, after soil pretreatment with dissolved organic matter, can be explained by an increase of soil C content via adsorption of some organic compounds from dissolved organic matter solution (Blasioli *et al.*, 2011). Clay minerals appear to exert their primary influence by modifying the physicochemical characteristics of microbial habitats; this either enhances or attenuates the growth and metabolism of individual microbial populations (Bollag *et al.*, 2002). Minerals exhibit mixed fractions and they transform naturally occurring and xenobiotic substrates abiotically; at the same time, they act as sorbents, thus altering the impact of microorganisms, enzymes and chemicals. Adsorption and other binding interactions that occur on both mineral and humic surfaces are believed to reduce the bioavailability of xenobiotics (Bollag *et al.*, 2002).

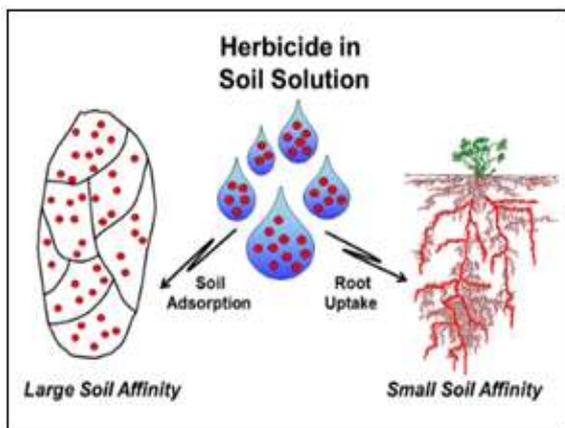


Fig. 10. Effectiveness of soil applied herbicides can depend on the physical properties of the herbicide, soil organic matter content, and soil texture. When herbicides have a strong affinity to soil. They are less effective for weed control (Kurt *et al.*, 2011).

The relationships among soil pH, organic matter, total K and other indicators are common. The change between soil pH and organic matter remained stable, which is possibly due to the reflection that the soil pH is synthesized by soil chemical properties widely affected by soil microbial activities, composition and decomposition of organic matter, morphology

transformation and release of N, P and other nutrients (Fu and Wang, 2007). In brief, the variation in exchangeable base cations and EC is controlled by the interaction of plant and soil, and the interaction of soil physical, chemical, and biological properties, which in turn controls plant nutrient availability in the sandy land ecosystem.

Conclusion

The indiscriminate use of herbicides has increasingly become a matter of environmental concern altering the soil fertility status, because of their adverse effects on soil microorganisms as well as on physicochemical properties of soil. Although the efficacy of herbicides in controlling the weeds is important, its residual impact should also be considered for environmental safety. The herbicides are used either as pre-emergence or as post-emergence; a high proportion of herbicides reaches the soil and accumulates in the microbiologically active top soil altering microbial populations and biodiversity, which are good indicators of the balance in the agroecological system. This study has elucidated the ability of herbicides (Sekator and Zoom) to chelate or bind with soil minerals there by reducing the availability for uptake of essential minerals such as K thus eliciting various malformations in the plants and making the plants susceptible to various diseases and malformations such as leaf necrosis. It has also been shown that soil minerals are utilised by plants and microbes during microbial degradation.

The soil fertility status may also be enhanced by microbial processes including degradation of agrochemicals/herbicides, nutrient cycling and carbon sequestration. Therefore, there is a need for the advent and use of cheaper, ecofriendly alternatives that result in increased crop production along with the judicious use of the known arsenal of agrochemicals as suggested by the integrated pest and nutrient management protocols. Further, it is necessary to strengthen the scientific basis of modern agriculture, because herbicides may be advantageously used only if their persistence,

bioaccumulation, and toxicity in agroecosystem are strictly controlled.

Acknowledgments

We thank the entire staff of Laboratory of plant biology, Department of Natural Science, LaarbiTebessi University, Tebessa(Algeria) especially Dr. Maalem for making available some of their valuable equipments for use and we also appreciate the effort of Pr. L. Meksem Amarafor his constructive criticism during the preparation of this manuscript.

References

- Adil M.** 2012. Dynamics of phosphorus in the soil-plant system in Saharan soil and climatic conditions. Magister thesis, University KasdiMerbah, Ouargla, 62.
- Baham J, Sposito G.** 1994. Adsorption of dissolved organic carbon extracted from sewage sludge on montmorillonite and kaolinite in the presence of metal ions. *Journal of Environmental Quality* **23**, 147-153.
- Barriuso E, Baer U, Calvet R.** 1992. Dissolved organic matter and adsorption-desorption of dimefuron, atrazine and cabetamide by soils. *Journal of Environmental Quality* **21**, 359-367.
- Blasioli S, Braschi I, Gessa CE.** 2011. The fate of herbicides in soil. In: Kortekamp A, Ed. *Herbicides and Environment*, InTech, China, 175-194.
- Bollag JM, Berthelin J, Adriano D, Huang PM.** 2002. Impact of soil minerals-organic component microorganisms interactions on restoration of terrestrial ecosystems. *Proceedings of the 17th WCSS Symposium, Thailand*, 14-21.
- Bonneau M, Souchier B.** 1994. *Constituents and properties of soils*, 2nd Ed. Masson, Paris, 665.
- Cengiz EI, Unlu E, Balci K.** 2001. The Histopathological effects of Thiodin on the liver and gut of mosquito fish, *Gambusia affinis*. *Journal of Environmental Science and Health* **36**, 75-85.
- Cessna AJ, Donald DB, Bailey J, Waiser M, Headley JV.** 2006. Persistence of the sulfonylurea herbicides Thifensulfuron-Methyl, Ethametsulfuron-Methyl and Metsulfuron-Methyl in farm dugouts (ponds). *Journal of Environmental Quality* **35**, 2395-2401.
- Das AC, Debnath A.** 2006. Effect of systemic herbicides on N₂-fixing and phosphate solubilizing microorganisms in relation to availability of nitrogen and phosphorus in paddy soils of West Bengal. *Chemosphere* **65**, 1082-1086.
- Das AC, Debnath A, Mukherjee D.** 2003. Effect of herbicides oxadiazon and oxyfluorfen on phosphates solubilizing microorganisms and their persistence in rice fields. *Chemosphere* **53**, 217-221.
- Debnath A, Das AC, Mukherjee D.** 1994. Studies on the decomposition of non-conventional organic wastes in soil. *Microbiological Research* **149**, 195-201.
- Eze OC, Loganathan P.** 1990. Effects of pH on phosphate sorption of some Paleudults of southern Nigeria. *Soil Science* **150**, 613-621.
- Fang G, Chen J, Wang J, He J, Wang S.** 2010. N-methylimidazolium ionic liquid-functionalized silica as a sorbent for selective solid-phase extraction of 12 sulfonylurea herbicides in environmental water and soils amples. *Journal of Chromatography A* **1217**, 1567-1574.
- Fang G, Wang X, Wang S.** 2010. Multiwalled carbon nanotubes as SPE adsorbents for simultaneous determination of seven sulfonylurea herbicides in environmental water by LC-MS-MS. *Chromatographia* **72**, 403-409.

- Friesen DK, Juo ASR, Miller MH.** 1980. Liming and lime-phosphorus-zinc interactions in two Nigerian Ultisols. I. Interactions in the soil. Soil Science Society of America Journal **44**, 1221 - 1226.
- Fu HN, Wang Y.** 2007. The quality and assessment on growth conditions for ancient trees in Shanghai. Shanghai Construction Science and Technology **1**, 44-62.
- Gomez KA, Gomez AA.** 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd Edn. Singapore: John Wiley and Sons, 13-33.
- Hingston FJ, Posner AM, Quirk JP.** 1972. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. Journal of Soil Science **23**, 177-192.
- Hinsinger P.** 2001. Chemical interactions between roots and soil minerals. Effects on mineral weathering and plant nutrition. Memory to obtain authorization to conduct research. University of Montpellier II, 147.
- Hollaway KL, Kookana RS, Noy DM, Smith JG, Wilhelm N.** 2006. Persistence and leaching of sulfonylurea herbicides over a 4-year period in the highly alkaline soils of south-eastern Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture **46**, 1069-1076.
- Jackson ML.** 1967. Soil Chemical Analysis. New Delhi: Prentice Hall of India, Pvt. Ltd, 498.
- Kurt DN, Mark CS, Pedro AS.** 2011. Integrating variable rate technologies for soil-applied herbicides in Arizona vegetable production. The University of Arizona Cooperative Extension.
- Lopez-hernandez ID, Burnham CP.** 1974. The covariance of phosphate sorption with other soil properties in some British and tropical soils. Journal of Soil Science **25**, 196-206.
- Mâalem S.** 2011. Study of impact of interactions between phosphorus and sodium chloride in three plant species of *Atriplex* (*A. halimus*, *A. canescens* and *A. nummularia*). PhD Thesis, University of Badji Mokhtar, Annaba, 79.
- Mathieu C, Pieltain F.** 2003. Chemical soil analysis: chosen methods. Tec and Doc Lavoisier, Ed. Paris, 389.
- Muljadi D, Posner AM, Quirk JP.** 1966. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. Journal of Soil Science **17**, 212-247.
- Olsen J.** 2000. New soil maps spark change. Farm Industry News, 78-83.
- Olsen SR, Dean LA.** 1982. Phosphorus. In: Black CA, Evans DP, White JL, Ensminger LE, Clark FE, Dianauer RC (Eds.) Methods of Soil Analysis. American society of Agronomy, Madison, 1035-1049.
- Parfitt RL, Farmer VC, Russell JD.** 1977. Adsorption on hydrous oxides. II. Oxalate, benzoate, and phosphate on gibbsite. Journal of Soil Science **28**, 40-47.
- Patel RB, Barevadia TN, Patel BD, Meisuriya M.** 2004. Effect of cultural and chemical methods on weed and fruit yield of green chilli. Indian Journal of Weed Science **36**, 300-301.
- Petroff JK, Sheley RL.** 1999. Biology and management of noxious range-land weeds. Oregon State University Press, Corvallis, OR, USA.
- Pierzynski GM, Sims JT, Vance GF.** 2005. Soils and Environmental Quality. 2nd Edn, CRC Press, USA, 584.
- Rosenbom AE, Kjaer J, Olsen P.** 2010. Long-term leaching of rimsulfuron degradation products through sandy agricultural soils. Chemosphere **79**, 830-838.

Savary S, Willocquet L, Elazegui FA, Castilla NP, Teng PS. 2000. Rice pest constraints in tropical Asia: quantification of yield losses due to rice pests in a range of production situations. *Plant Disease* **84**, 357-369.

Tipping E, Woof C. 1990. Humic substances in acid organic soils: Modelling their release to the soil solution in terms of humic charge. *Journal of Soil Science* **41**, 573-586.

Vilău F, Vilău N, Roșculete CA, Mutafa I. 2010. Research concerning wheat crop weed control and herbicide influence on bread quality. *Analele*

University din Craiova, Seria Agriculture, Montanology Cadastru Vol XL/1.

Vulliet E, Emmelin C, Grenier-Loustalot MF, Païssé O, Chovelon JM. 2002. Simulated Sunlight-Induced Photodegradations of Triasulfuron and Cinosulfuron in Aqueous Solutions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**, 1081–1088.

Zouaoui A, Cheloufi R, Messadia H. 2013. Impact of herbicides upon organic carbon dynamic in soils. *Albanian Journal of Agricultural Sciences* **12**, 223-228.