

Caractérisation physico-chimique des graines de blé tendre (*Triticum aestivum*) sous traitement herbicide par l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique

[Physico-chemical characterization of the seeds of bread wheat (*Triticum aestivum*) under herbicide treatment with 2,4-dichlorophenoxyacetic acid]

Sanâa LANOUARI¹⁻²⁻³, Boubker NASSER¹, Jamal EL HADDOURY², and Bouchaib BENCHARKI³

¹Laboratoire de Biochimie et Neurosciences,
Université Hassan 1^{er}, Faculté de Sciences et Techniques,
B.P. 577, Settat, Maroc

²Laboratoire de Biotechnologie Végétale,
Centre Régional de la Recherche Agronomique,
B.P. 589, Settat, Maroc

³Laboratoire d'Agroalimentaire et Santé,
Université Hassan 1^{er}, Faculté de Sciences et Techniques – Settat,
B.P. 577, Settat, Maroc

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The use of pesticides in modern agriculture is required to maintain a level of production consistent with the demand and needs. However, most of these molecules are highly toxic and hardly biodegradable. Their massive and repeated use can lead to negative consequences for all components of the environment. However, the challenge facing today is to reconcile wheat production with the international quality standards. So it is in this context that we conducted our research, consisting to identify the influence of treatment with an herbicide widely used in Morocco, on the biochemical parameters of wheat seed. To do this, we tried to make a comparative study of the physicochemical properties of five varieties of bread wheat (*Triticum aestivum*), and to assess their nutritional values. The results obtained show that the samples of treated wheat present highly significant different rates, higher or lower, relative to control, which can reach to: lipids ($2.92 \pm 0.01\%$), proteins ($13,81 \pm 0.03\%$) acidity ($0.09 \pm 0.01\%$), moisture ($14.60 \pm 0.04\%$), minerals ($1.69 \pm 0.04\%$) and the total carbohydrates ($71.41 \pm 0.07\%$).

KEYWORDS: acidity, moisture, minerals, phospholipids, proteins.

RESUME: L'utilisation des pesticides dans l'agriculture moderne est indispensable pour maintenir un niveau de production compatible avec la demande et les besoins. Cependant, la plupart de ces molécules sont hautement toxiques et difficilement biodégradables. Leur utilisation massive et répétée peut engendrer des conséquences néfastes pour toutes les composantes de l'environnement. Néanmoins, le défi qui se pose aujourd'hui est de concilier une production de blé avec des standards internationaux de qualité. C'est donc, dans ce contexte que nous avons mené nos recherches, qui consistent l'identification de l'influence du traitement par un herbicide, largement utilisé au Maroc, sur les paramètres biochimiques de la graine des épis de blé. Pour ce faire, nous avons essayé de faire une étude comparative sur les propriétés physico-chimiques de cinq variétés du blé tendre (*Triticum aestivum*), et d'évaluer leurs valeurs nutritionnelles. Les résultats obtenus montrent que les échantillons du blé traités présentent des taux différents hautement significatifs, supérieurs ou inférieurs, par rapport aux

témoins, qui peuvent atteindre les valeurs suivantes: les lipides ($2,92 \pm 0,01\%$), les protéines ($13,81 \pm 0,03\%$) l'acidité ($0,09 \pm 0,01\%$), l'humidité ($14,60 \pm 0,04\%$), les minéraux ($1,69 \pm 0,04\%$) et les glucides totaux ($71,41 \pm 0,07\%$).

MOTS-CLEFS: acidité, humidité, minéraux, phospholipide, protéines.

1 INTRODUCTION

Actuellement, l'utilisation des pesticides paraît nécessaire pour maintenir un niveau de production et de qualité compatible avec la demande et les besoins, ce qui par ailleurs s'inscrit dans les principes d'une agriculture durable, afin de satisfaire la demande nutritionnelle liée à l'accroissement de la population mondiale [1]. Cependant, la plupart de ces molécules sont toxiques et difficilement biodégradables. Leur utilisation massive et répétée peut engendrer des conséquences néfastes pour toutes les composantes de l'environnement [2], [3].

Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.), qui représente la première céréale cultivée au monde en termes de surface et qui constitue l'aliment de base de plus d'un tiers de la population mondiale [4], occupe une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale du Maroc [5]. Le principal produit récolté, le grain de blé, est un caryopse, un fruit sec indéhiscent constitué d'une graine et de téguments [6], [7], [8]. Ces graines pouvant être considérées depuis des millénaires comme des produits d'intérêt nutritionnel, bien qu'elles soient riches en acides aminés et en vitamines [9], [10]. Elles sont constituées majoritairement d'amidon qui représente environ 70% de la matière sèche de la graine et qui est situé dans l'albumen, les protéines représentent entre 10 et 15% de la matière sèche et se retrouvent dans tous les tissus du grain de blé et les pentosanes représentent quant à eux entre 2 et 3% de la matière sèche [7].

Le traitement herbicide des surfaces cultivées est une technique largement utilisée pour détruire les mauvaises herbes dicotylédones [11], [12], dans plusieurs régions céréalières du Maroc. Ce système ancestral est très bien connu pour les avantages qu'il présente: une souplesse d'utilisation (multicéréales, pré et postlevée), une efficacité contre les adventices d'automne les plus problématiques et un atout dans la prévention et gestion des résistances [13], [14].

Néanmoins, le défi qui se pose aujourd'hui est de concilier une production de blé avec des standards internationaux de qualité. Il nous a donc paru judicieux de faire une étude qui consiste à connaître l'influence du traitement par un herbicide très utilisé au Maroc, l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4-D), sur la modification des composantes biochimiques des graines récoltées à partir des épis de cinq cultivars marocaines de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Les principaux aspects abordés dans cette étude, sont : les analyses physico-chimiques du blé traité avec l'herbicide et du blé témoin (non traité) et la comparaison de la valeur nutritionnelle de ces deux types de blé.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé dans cette expérimentation est constitué de cinq variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) : Tellila, Aguilal, Merchouch, Achar et Amal, fourni par le Centre Régional de la Recherche Agronomique (CRRRA), Settat, Maroc.

2.2 CONDUITE DE L'ESSAI

L'expérimentation a été menée en conditions climatiques semi-naturelles, en serre climatisée avec une température journalière variant entre 20°C et 25°C. Les graines ont été semées dans des pots étiquetés contenant un support tamisé formé de 1/3 tourbe et de 2/3 sable stérile. Les pots ainsi préparés sont irrigués régulièrement deux fois par semaine et aucune fertilisation n'a été appliquée, afin de mieux saisir le comportement de ces plantes en réponse au traitement appliqué. 5 à 6 semaines après le semis, les jeunes plantules qui ont en stade 7-8 selon l'échelle de feekes [15], ont été traitées par une solution de l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4-D) à une concentration de 2500 ppm, qui a été choisie suite à l'étude réalisée par Lanouari [16]. Les échantillons témoins ont été traités dans les mêmes conditions avec de l'eau de robinet. Au stade maturation, les graines des épis de ces plantes sont récoltées, une partie a été destinée au broyage à sec et l'autre partie à été conservée sans broyage pour réaliser l'extraction des lipides.

2.3 DOSAGE DES LIPIDES TOTAUX ET DES PHOSPHOLIPIDES

2.3.1 DOSAGE DES LIPIDES TOTAUX

L'extraction des lipides totaux a été réalisée selon la méthode de Blight et Dyer [17]. Environ 2 g des graines de blé sont fixées dans 10 ml d'eau bouillante. L'ébullition est maintenue pendant 3 à 5 minutes afin d'arrêter toute réaction enzymatique. Une fois récupérées, les graines sont broyées d'abord dans 10 ml de méthanol puis dans 10 ml de chloroforme. Pour accélérer la séparation des phases 0,2 volume de chlorure de sodium 1% (p/v) est ajouté à 1 volume de solution aqueuse. Le mélange est centrifugé pendant 20 minutes à 5000g et le surnageant obtenu est transvasé dans une ampoule à décanter. La phase chloroformique est filtrée puis évaporée et le résidu obtenu, formé de lipides totaux, est alors dissous dans un minimum de solvant d'extraction.

2.3.2 IDENTIFICATION DES LIPIDES PAR CHROMATOGRAPHIE SUR COUCHE MINCE

La séparation des différentes classes lipidiques s'effectue à l'aide de la technique de chromatographie sur couche mince (CCM). Pour la séparation des lipides neutres (LN), la méthode utilisée est celle de Mangold [18], la migration se fait dans un mélange de solvant: éther de pétrole, éther éthylique et acide acétique (70/30/0.4, V/V/V). Les lipides polaires sont séparés selon la méthode de Heape [19], dans un mélange: KCl 0.25%, Méthylacétate, Propanol, Chloroforme, Méthanol (3/10/8.6/8.6/2.7, V/V/V/V/V). Après migration, les plaques sont ensuite exposées à une atmosphère saturée en vapeur d'iode.

2.3.3 QUANTIFICATION DES PHOSPHOLIPIDES

Les différentes bandes révélées, correspondantes aux différentes classes de phospholipides, sont grattées et mises dans un matras en présence de 450 µl d'acide perchlorique 70%. La minéralisation se déroule par chauffage à reflux dans un bain de sable pendant 50 min. Ensuite, chaque minéralisât est récupéré dans 3,5 ml d'eau distillée, transvasé dans un tube à essai et conservé jusqu'au dosage. Une gamme étalon de 0,5 à 3 µg de phosphore est réalisée avec une solution de phosphore inorganique (KH_2PO_4) à 10 µg/ml. Par la suite, 0,5 ml de molybdate d'ammonium et 0,5 ml d'acide ascorbique ont été ajoutés en même temps dans les tubes de la gamme étalon et dans les tubes des échantillons à analyser. Le phosphore inorganique va réagir avec du molybdate d'ammonium en donnant une couleur bleue dont la mesure à 820 nm est proportionnelle à la quantité de phosphore [20].

2.4 DOSAGE DES PROTÉINES TOTALES

La teneur en protéines totales est déterminée selon la méthode de Kjeldahl, en multipliant la valeur obtenue par un coefficient de conversion 5.70, spécifique aux céréales, compte tenue de la composition moyenne en acides aminés du blé [21], [22], [23], [24], [25]. Cette méthode repose sur une minéralisation de l'échantillon en présence de 6ml d'acide sulfurique concentré à 98%, en transformant l'azote protéique en azote ammoniacal par oxydation de la matière organique à haute température et en présence d'un catalyseur et d'un sel. Ensuite, après l'addition de 40 ml de solution d'hydroxyde de sodium 10 N, la distillation se fait par injection de vapeur qui entraîne les vapeurs d'ammoniac vers un condensateur pour aboutir à un Erlenmeyer contenant de l'acide borique 4 % et quelques gouttes d'un indicateur formé du rouge de méthyle 0.2% et du bleu de méthylène 0.1% dissous dans l'alcool. L'ammoniac réagit avec l'acide borique pour former des sels borates d'ammonium. Un essai à blanc est préparé en présence de tous les réactifs sauf l'échantillon, puis analysé dans les mêmes conditions. Après titration de l'ammoniac à l'aide d'une solution standardisée d'acide sulfurique 0,05 N, on calcul le taux de protéines.

2.5 DOSAGE DU PHOSPHORE TOTAL

La détermination de la teneur en phosphore total est effectuée selon la norme AFNOR [26], [27]. Une minéralisation d'échantillon est effectuée en présence du 20 ml du mélange: molybdate d'ammonium et métavanadate d'ammonium. La détermination du phosphore est basée sur l'intensité de la couleur jaune est mesurée par un spectrophotomètre à 430 nm.

2.6 DOSAGE DU POTASSIUM TOTAL

A environ 0,25 g de farine, 5ml d'acide nitrique et 1 ml de l'acide perchlorique on été ajoutés. Le mélange est préchauffé dans le bloc de digestion à 130 °C. La digestion a déroulée pendant 75 min à 170 °C. Ensuite la température est augmentée à 215 °C d'une durée de 90 min. Les tubes sont refroidis et réajustés à 100 ml avec l'eau distillée. Le potassium est dosé par un photomètre de flamme à 766 nm. L'excitation du potassium par la chaleur va dégager une luminescence qui sera détecté par une cellule photoélectrique qui le convertira en intensité, la mesure de cette intensité dépend de la concentration en potassium [27].

2.7 DOSAGE DE L'ACIDITÉ

L'acidité a été déterminée par un dosage titrimétrique afin de déterminer la teneur totale en acide naturel des échantillons. Un extrait alcoolique a été préparé à partir de 5g de farine incubée pendant 24 h dans une solution d'alcool 95°. Le mélange est centrifugé pendant 5 min à 2000g et 20 ml du surnageant a été récupéré dans 80 ml d'eau distillée. Un blanc est préparé avec l'alcool 95° pour déterminer l'acidité apportée par le solvant en suivant la même procédure Le dosage de l'extrait a été effectué avec une solution alcaline de soude 0,05 N en présence de phénophtaléine jusqu'au virage de la couleur au rose pâle [28], [29].

2.8 DOSAGE DE L'HUMIDITÉ

La détermination de la teneur en eau est effectuée selon la norme NF V 03-707 [30]. Environ 5g de farine est pesée dans des coupelles en aluminium puis placée à l'étuve réglée entre 130 et 133°C pendant 90 minutes. Après ce temps, les coupelles contenant les échantillons secs sont placées pendant 15 minutes dans un dessiccateur, puis pesées à nouveau. La différence de poids observée représente le taux d'humidité [10], [24], [25], [29], [31], [32].

2.9 DÉTERMINATION DES TENEURS EN MINÉRAUX

La détermination de la teneur en minéraux est effectuée selon la norme NF V 03-707 [33]. Environ 5 g de farine est mise en calcination dans un four à moufle réglé à 900 ± 25°C. La minéralisation est poursuivie pendant 3 heures jusqu'à combustion totale de la matière organique et apparition d'un résidu blanchâtre. La différence de poids observée représente le taux des minéraux [10], [24], [29].

2.10 DOSAGE DE L'AMIDON TOTAL

L'extraction et le dosage de l'amidon a été réalisée selon la méthode de Thivend et *al.* [34]. A environ 0.1 g de farine bien broyée, 5 ml de KOH 1N a été ajouté. Le mélange est neutralisé ensuite avec 5 ml de HCl 1N, puis mis en ébullition dans un bain-marie pendant 15 min et réajusté à 10 ml. Après centrifugation, le surnageant est récupéré pour faire l'objet du dosage. Un essai à blanc est préparé en présence d'amidon standard, puis analysé dans les mêmes conditions. Le mélange amylose et amylopectine présente le maximum d'absorption à 580 nm, alors que l'absorbance à 720 nm est liée essentiellement à l'amylose. Cette différence spectrale est destinée pour doser simultanément l'amidon total, l'amylose et l'amylopectine [35].

2.11 DÉTERMINATION DES TENEURS EN GLUCIDES TOTAUX

Les glucides totaux sont évalués par la somme des teneurs des constituants suivants: Eau, minéraux, protéines totales et lipides totaux, soustraite du total [29]. Les résultats donnent une estimation approchée de la quantité totale de glucides présents dans la farine.

2.12 ANALYSE STATISTIQUE

L'analyse statistique a été réalisée par le logiciel « SPSS Statistics 20 ». Les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± SEM (erreur standard sur la moyenne) La variabilité des paramètres étudiés a été testée selon les différentes variétés étudiées et le traitement par le 2,4-D. Une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs (variété traitée et variété non traitée) a été effectuée et la significativité des différences à été déterminée au risque d'erreur 0,001 ; 0,01 ; 0,05.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 LE TAUX DES LIPIDES TOTAUX ET DES PHOSPHOLIPIDES

L'extraction et l'analyse des lipides totaux à partir des graines de blé tendre, nous a permis d'identifier et de comparer deux types, les lipides polaires et les autres non polaires. La teneur de ces lipides est exprimée en pourcentage par rapport à la matière humide: exprimée en g/100g de la matière sèche (M.S).

Selon les résultats obtenus (figure 1), les teneurs en lipides enregistrées pour les cinq variétés marocaines de blé tendre traitées par le 2,4-D, montrent des valeurs élevées par rapport à celles obtenues pour les variétés non traitées. Ces teneurs marquées chez les variétés non traitées varié de $1,73 \pm 0,09$ % chez la variété Aguilal à $2,41 \pm 0,03$ % chez la variété Achar. Ces valeurs sont conformes à celles trouvées par Jeantet et al. [36] qui ont enregistré des valeurs comprises entre 1,7-2,0 %. Par ailleurs, Feillet [37] et Guinet [38] ont enregistré des valeurs qui se situent entre 2,0-3,0 % et 2,0-2,5 %, respectivement. Ces teneurs ont augmenté chez les variétés traitées pour atteindre $2,70 \pm 0,09$ % chez la variété Amal et $2,92 \pm 0,01$ % chez la variété Achar.

L'analyse de la variance à deux facteurs (variété traitée et variété non traitée), révèlent des différences hautement significatives ($P < 0, 01$) entre les différentes variétés, surtout chez Aguilal, Achar et Amal.

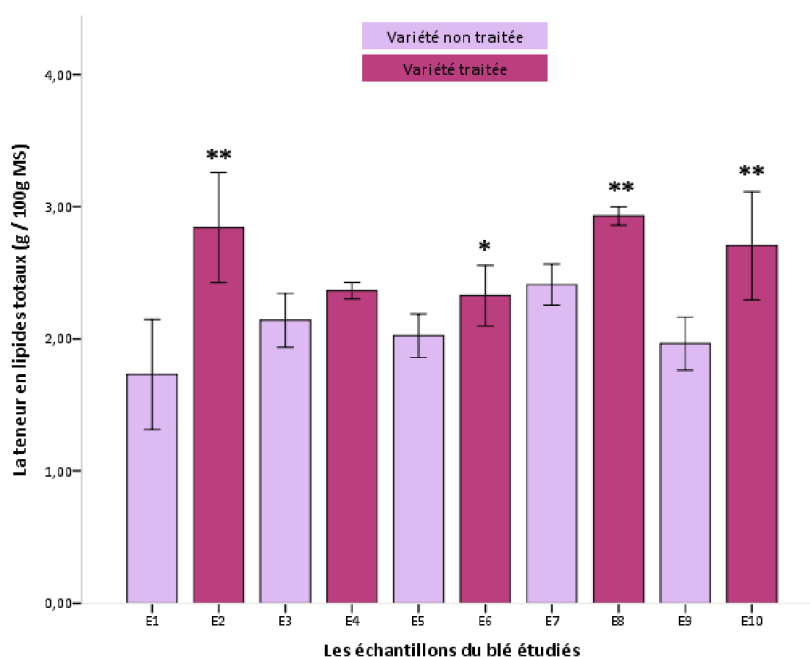


Fig.1. Effet du traitement par l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique sur les teneurs en lipides totaux de cinq variétés de blé tendre. Les résultats correspondent à la moyenne de trois essais, Les barres d'erreur correspondent à la SEM. E1 : Aguilal Témoin; E2 : Aguilal Traité; E3 : Tellila Témoin; E4 : Tellila Traité; E5 : Mercouch Témoin; E6 : Mercouch Traité; E7 : Achar Témoin; E8 : Achar Traité; E9 : Amal Témoin; E10 : Amal Traité. (***, **, * effet significatif pour 0,001 ; 0,01 ; 0,05).

L'analyse des plaques chromatographiques (figure 2), montre que les principaux composants des lipides neutres sont : le monoacylglycérol, le diacylglycerol-1.2, le diacylglycerol-1.3, les acides gras libres, les triacylglycérol et l'ester de stérol. D'après l'analyse de la surface des bandes obtenues, les échantillons étudiés se distinguent par une richesse en triacylglycérol et monoacylglycérol et des teneurs faible en acides gras libres et diacylglycerol. Pour les lipides polaires, les principaux composants sont : les glycolipides et les phospholipides.

Les résultats obtenus sont en accord avec ceux obtenus par Ouzouline et *al.* [39] et Marion et *al.* [40]. La proportion des lipides polaires par rapport aux lipides non polaires est un facteur de stabilité des farines [39].

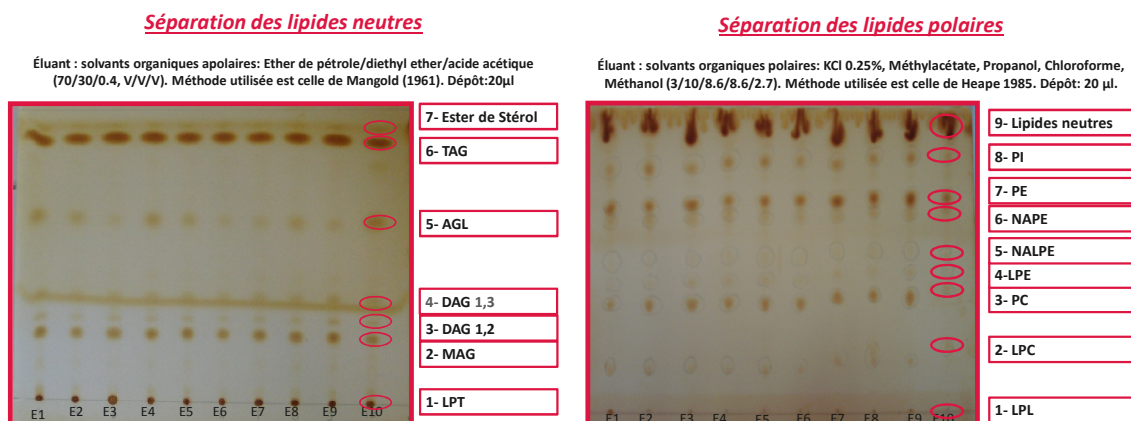


Fig.2. Séparation par chromatographie sur couche mince des lipides polaires et des lipides neutres.

Le tableau 1 représente la nature de chacune des bandes représentant les différentes classes lipidiques obtenues par CCM ainsi que leurs facteurs de rétention « Rf » identifiés d’après la méthode de Heape [19].

Tableau 1. Les différentes classes lipidiques obtenues par séparation par chromatographie sur couche mince, ainsi que les facteurs de rétention correspondants.

	Les classes lipidiques	Facteur de rétention
Les lipides neutres	1- Lipides polaires totaux (LPT)	0
	2-Monoacylglycérol (MAG)	0,228
	3-Diacylglycerol 1,2 (DAG 1,2)	0,278
	4-Diacylglycerol 1,3 (DAG 1,3)	0,364
	5-Acides gras libres (AGL)	0,628
	6-Triacylglycérol (TAG)	0,871
	7-Ester de stérol	0,911
Les lipides polaires	1-Lysophospholipides (LPL)	0
	2- Lysophosphatidylcholine (LPC)	0,155
	3- Phosphatidylcholine (PC)	0,358
	4- Lysophosphatidylethanolamine (LPE)	0,418
	5- N-acyl lysophosphatidyléthanolamine (NALPE)	0,500
	7- N-acyl phosphatidyléthanolamine (NAPE)	0,621
	8-Phosphatidyléthanolamine (PE)	0,675
	9- Phosphatidylinositol (PI)	0,780
	10-Lipides neutres	0,946

Les résultats des pourcentages des différentes classes de phospholipide (PL) sont représentés dans le tableau 2. Pour les PL issues des graines témoins, les résultats montrent que la phosphatidylcholine(PC) est la plus abondante avec un pourcentage qui peut atteindre $27,84 \pm 0,07\%$ chez la variété Amal, suivit par la phosphatidyléthanolamine (PE) $26,64 \pm 0,05\%$ chez la même variété et la phosphatidylinositol (PI) $23,45 \pm 0,04\%$ chez la variété Achtar. Alors que pour les graines traitées, il y a une augmentation légère du taux des phospholipides qui peut atteindre $31,77 \pm 0,09\%$ pour la PC (Amal), $25,97 \pm 0,09\%$ pour la PE (Amal) et $24,20 \pm 0,05\%$ pour la PI (Achtar).

Les phospholipides sont des constituants mineurs de la farine de blé tendre, ils sont impliqués dans la qualité du pain. Dans cette étude, nous avons entrepris la mise au point d'une méthode d'extraction, séparation et quantification des principaux phospholipides de farine de blé tendre. La séparation par CCM des extraits lipidiques et le dosage des différents phospholipides permettent de voir que les PL sont composés majoritairement par la phosphatidyléthanolamine (PE), le N-acyl phosphatidyléthanolamine (NAPE), le N-acyl lysophosphatidyléthanolamine (NALPE), la phosphatidylcholine (PC), le phosphatidylinositol (PI) et les lysophospholipides (LPL), donc les résultats obtenus dans notre étude est en concordance avec ceux cités par Bottier [6] et Haard et al. [41].

Tableau 2. Effet du traitement par l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique sur les teneurs en phospholipides de cinq variétés de blé tendre.
Les résultats correspondent à la moyenne de trois essais, Les barres d'erreur correspondent à la SEM.

Les échantillons		% LPC	% PC	% LPE	% NALPE	% NAPE	% PE	% PI
Aguilal	Témoin	12,372 ± 0,061	19,872 ± 0,051	12,952 ± 0,037	8,652 ± 0,124	5,868 ± 0,049	21,265 ± 0,077	19,013 ± 0,061
	Traité	12,333 ± 0,056	21,630 ± 0,032	10,190 ± 0,005	8,263 ± 0,043	7,926 ± 0,078	20,019 ± 0,005	19,663 ± 0,094
Tellila	Témoin	10,373 ± 0,061	27,063 ± 0,012	8,896 ± 0,047	6,263 ± 0,063	6,943 ± 0,076	21,343 ± 0,113	19,129 ± 0,005
	Traité	9,726 ± 0,037	28,663 ± 0,130	5,356 ± 0,037	6,243 ± 0,076	6,946 ± 0,074	22,606 ± 0,121	20,486 ± 0,122
Mercouch	Témoin	7,360 ± 0,037	24,050 ± 0,025	8,133 ± 0,066	8,200 ± 0,057	10,176 ± 0,018	21,913 ± 0,048	20,163 ± 0,069
	Traité	7,860 ± 0,051	25,130 ± 0,040	7,926 ± 0,078	7,016 ± 0,008	9,660 ± 0,064	20,863 ± 0,092	21,523 ± 0,066
Achtar	Témoin	7,186 ± 0,095	27,783 ± 0,057	5,980 ± 0,070	6,053 ± 0,029	3,193 ± 0,043	26,346 ± 0,054	23,453 ± 0,046
	Traité	5,316 ± 0,055	30,943 ± 0,033	5,853 ± 0,033	4,273 ± 0,044	3,726 ± 0,037	25,733 ± 0,087	24,200 ± 0,057
Amal	Témoin	7,010 ± 0,005	27,846 ± 0,075	11,326 ± 0,035	5,556 ± 0,088	7,080 ± 0,005	26,646 ± 0,054	14,570 ± 0,077
	Traité	5,866 ± 0,062	31,776 ± 0,093	6,080 ± 0,005	2,826 ± 0,024	5,483 ± 0,080	25,973 ± 0,092	21,980 ± 0,049

Les lipides constitutifs du blé, malgré qu'ils soient des constituants mineurs qui représentent environ 2 % du poids sec du grain [6], contribuent en grande partie aux qualités technologiques, rhéologiques et nutritionnelles des farines [42], [43], [44]. La composition lipidique du blé est très variable en fonction des variétés, des conditions de culture [45], [46] et de la

maturité des graines [44]. La nature des solvants et la méthode utilisée pour l'extraction des lipides influent aussi sur le résultat des analyses lipidiques.

Au Maroc, selon Ouzouline et *al.* [39], les variétés cataloguées n'ont jamais fait l'objet d'analyse lipidique poussée et publiée. Dans cette étude nous avons pu mettre en évidence des analogies et des différences dans la composition lipidique des graines de blé tendre sous traitement par 2,4-D, par rapport aux graines témoins. Cependant il faut noter que la méthode utilisée pour l'extraction des lipides favorise l'extraction des lipides libres (non liés à l'amidon) localisés surtout au niveau du germe et de la couche d'aleurone [39].

3.2 LE TAUX DES PROTÉINES TOTALES

Les résultats du taux des protéines (figure 3) du blé non traité varient entre $12,27 \pm 0,16\%$ chez la variété Aguilal et $13,15 \pm 0,09\%$ chez la variété Achar. Ces valeurs sont comprises dans l'intervalle 7-18 % cité par Cheftel [47] et Liu et Shepherd [48]. Cependant, elles sont aussi comprises dans les intervalles mentionnés par Jeantet et *al.* [36] et Feillet [37] qui sont respectivement 10-14% et 10-15%. Pour les échantillons traités, ce taux varie entre $12,41 \pm 0,01\%$ (Amal) et $13,81 \pm 0,03\%$ (Tellila).

Les analyses statistiques montrent des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) pour la variété Tellila.

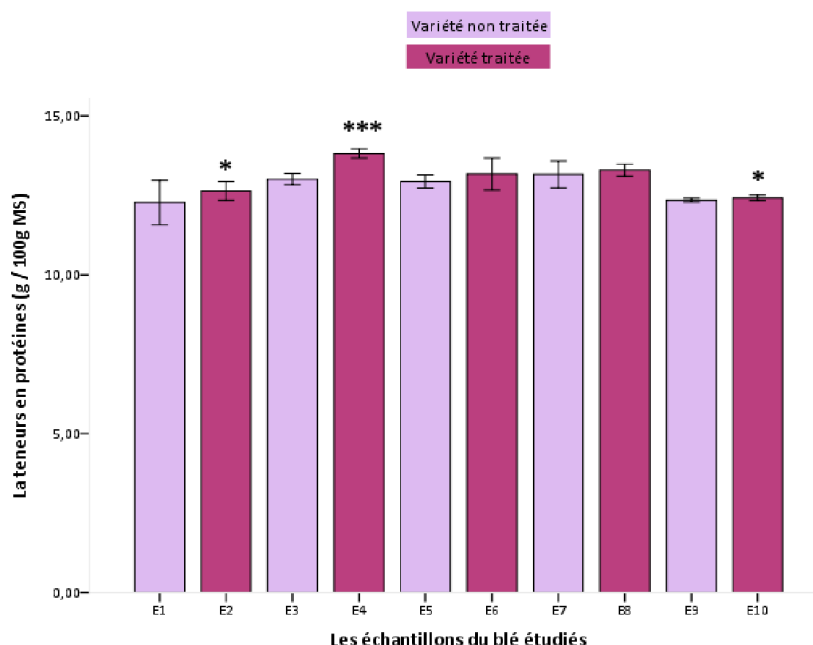


Fig.3. Effet du traitement par l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique sur les teneurs en protéines de cinq variétés de blé tendre. Les résultats correspondent à la moyenne de trois essais, Les barres d'erreur correspondent à la SEM. E1 : Aguilal Témoin; E2 : Aguilal Traité; E3 : Tellila Témoin; E4 : Tellila Traité; E5 : Mercouch Témoin; E6 : Mercouch Traité; E7 : Achar Témoin; E8 : Achar Traité; E9 : Amal Témoin; E10 : Amal Traité. (***) ; ** ; * effet significatif pour 0,001 ; 0,01 ; 0,05).

La qualité des protéines est un caractère extrêmement héritable [49], [50] et seulement une partie est influencée par l'environnement [48]. Sur le plan quantitatif, la teneur en protéines dépend essentiellement des conditions agronomiques du développement de la plante [51], [52]. Sur le plan qualitatif, elle est basée sur les différences de propriétés des protéines, celles-ci étant liées au patrimoine génétique de la variété [53].

Les quantités des protéines dosées à partir de la farine, sont légèrement plus importantes que celles des plantes témoins n'ayant pas subies l'effet d'herbicide. Il n'y a pas de grandes fluctuations en fonction de la nature des variétés et le traitement herbicide utilisé. Les résultats obtenus sont conformes avec ceux obtenus par Kloskowski et *al.* [54] Dec et *al.* [55] qui affirment que les concentrations modérées des 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 traitées [56].

Concernant la variété Tellila, les résultats sont en concordance avec ceux obtenus par Martin et *al.* [57], qui dans leurs travaux ont prouvé que les herbicides Dicamba + 2,4-D et Dicamba + MCPA améliorent la teneur des graines en protéine respectivement de 8,5% à 13%. De même, certains herbicides à base d'auxine ont eu un impact positif sur la teneur en protéine des grains de blé sans influencer le taux des acides aminés.

3.3 LE TAUX DU PHOSPHORE TOTAL

Les résultats du taux du phosphore total (figure 4), ont montré que ce taux chez les échantillons témoins varie entre $0,21 \pm 0,01\%$ pour la variété Merchouch et $0,49 \pm 0,05\%$ pour la variété Aguilal. Ces valeurs sont comprises dans l'intervalle 0,7-1,1%, cité par Feillet [37] et Matz [58]. Par contre, ce taux a montré une augmentation forte chez les échantillons traités, allant de $0,34 \pm 0,01\%$ pour la variété Achtar à $0,68 \pm 0,01\%$ pour la variété Tellila.

L'analyse de la variance révèle des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) entre les échantillons traités avec l'herbicide par rapport aux témoins.

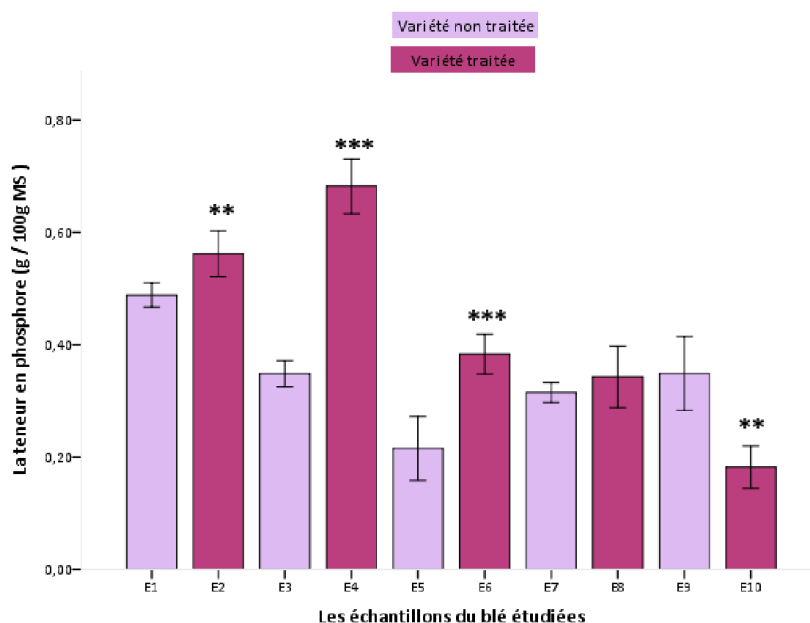


Fig. 4. Effet du traitement par l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique sur les teneurs en phosphores de cinq variétés de blé tendre. Les résultats correspondent à la moyenne de trois essais, Les barres d'erreur correspondent à la SEM. E1 : Aguilal Témoin; E2 : Aguilal Traité; E3 : Tellila Témoin; E4 : Tellila Traité; E5 : Merchouch Témoin; E6 : Merchouch Traité; E7 : Achtar Témoin; E8 : Achtar Traité; E9 : Amal Témoin; E10 : Amal Traité.(***; **, * effet significatif pour 0,001 ; 0,01 ; 0,05).

Le phosphore est un constituant essentiel que l'on rencontre en partie sous forme minérale. Mais il est beaucoup plus fréquemment présent sous forme organique, associé à des lipides, protides et glucides, notamment dans le noyau des cellules et dans les organes de reproduction. Il agit dans plusieurs activités biochimiques : respiration, métabolisme glucidique, synthèse des protéines [59], [60]. Baeyens et *al.* [61] notent que le phosphore est un élément indispensable pour l'élaboration des hydrates de carbone (amidon), des graisses (lécithine) et des albumines (nucléoprotéines).

Cependant l'augmentation des teneurs en phosphore enregistrée chez les variétés traitées peut être expliquée par les résultats fournis par Lambert [59], citant que le phosphore est considéré comme constituant essentiel des chromosomes, il intervient partout où il y a multiplication cellulaire, et bien sûr c'est l'effet de 2,4-D autant qu'hormone de synthèse, qui a une importance dans les phénomènes de croissance cellulaire [67].

3.4 LE TAUX DU POTASSIUM TOTAL

Les teneurs en potassium des farines sont illustrées dans la figure 5. Les résultats des échantillons témoins, indiquent que les valeurs peuvent varier entre $0,26 \pm 0,08$ % chez la variété Tellila et $0,47 \pm 0,08$ % chez la variété Aguila. Ces valeurs sont comprises dans l'intervalle 0,35-0,70%, cité par Matz [58]. Cependant, elles sont aussi comprises dans les intervalles mentionnés par Jeantet et *al.* [36] et Feillet [37]. Par contre chez les échantillons traités, ces valeurs peuvent aller de $0,28 \pm 0,05$ % (Amal) à $0,67 \pm 0,01$ % (Tellila).

L'analyse de la variance à deux facteurs, révèlent des différences entre les différentes échantillons étudiés, elles sont très hautement significatives ($P < 0,001$) chez les variétés Tellila et Amal. Donc le taux de potassium dans le blé traité est supérieur à celui du blé non traité.

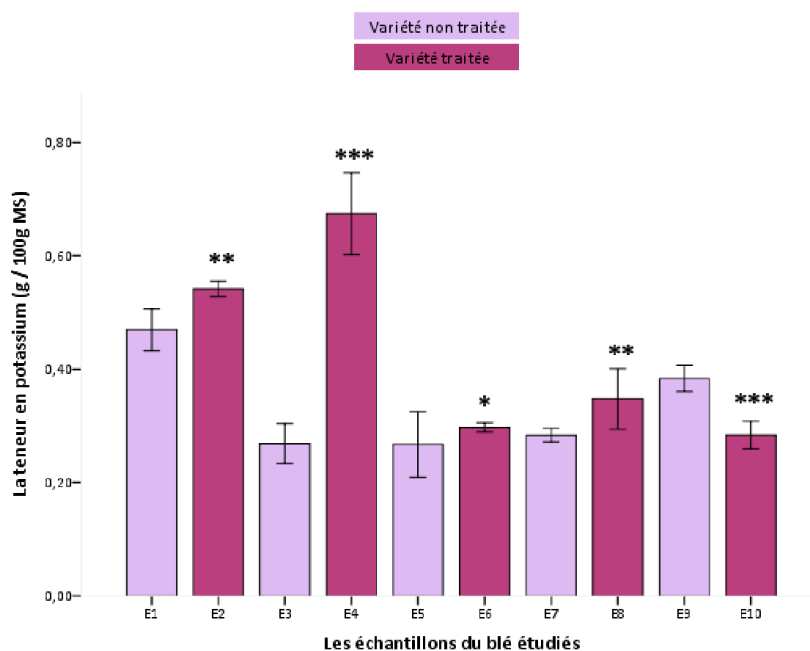


Fig.5. Effet du traitement par l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique sur la teneur en potassium de cinq variétés de blé tendre. Les résultats correspondent à la moyenne de trois essais, Les barres d'erreur correspondent à la SEM. E1 : Aguila Témoin; E2 : Aguila Traité; E3 : Tellila Témoin; E4 : Tellila Traité; E5 : Mercouch Témoin; E6 : Mercouch Traité; E7 : Achtar Témoin; E8 : Achtar Traité; E9 : Amal Témoin; E10 : Amal Traité. (***, **, * effet significatif pour 0,001 ; 0,01 ; 0,05).

3.5 LE TAUX DE L'ACIDITÉ

Les résultats illustrés dans la figure 6 révèlent une forte augmentation du taux d'acidité dans l'ensemble des échantillons traités par rapport aux témoins. Pour les variétés traitées, on note des valeurs qui sont situées entre $0,03 \pm 0,01$ % pour la variété Merchouch et $0,09 \pm 0,01$ % pour la variété Amal, par contre ces valeurs sont situées entre $0,01 \pm 0,01$ % (Merchouch) et $0,03 \pm 0,01$ % (Amal) pour les échantillons témoins.

L'analyse de la variance à deux facteurs (variété traitée et variété non traitée), montre qu'il existe une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les différentes variétés.

L'acidification constitue un indice d'altération de la qualité technologique de la farine [6]. Elle est peut être due à l'oxydation des acides gras polyinsaturés, qui provoque une dégradation enzymatique des lipides catalysés par la lipoxigénase, qui provoque par la suite un réarrangement des liaisons disulfure au sein du réseau protéique. D'après Feillet [37], le taux d'acidité de la farine ne doit pas dépasser 0,05%. Donc le taux élevé chez les variétés de blé tendre traité par le 2,4-D pourrait s'expliquer par une dégradation des triglycérides ou bien par la méthode d'extraction utilisée ou par l'état de maturité peu avancé [39].

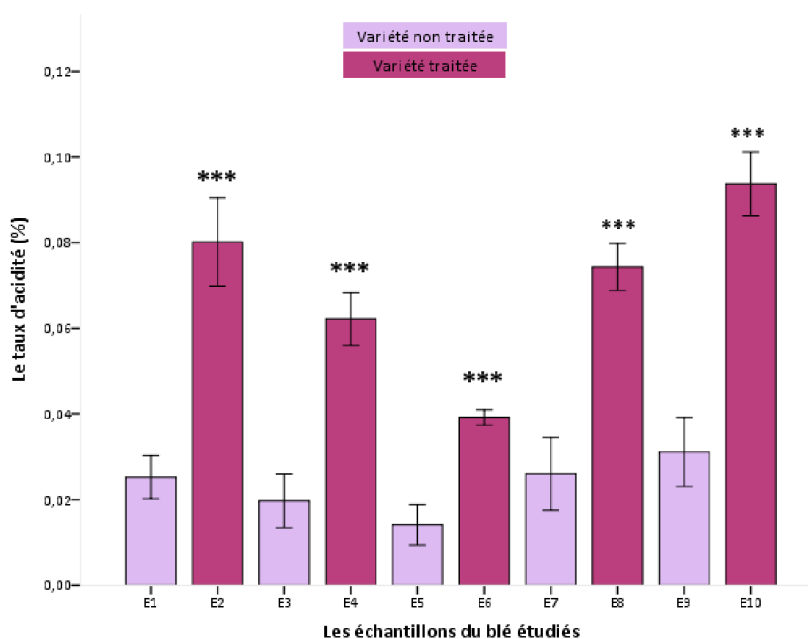


Fig. 6. Effet du traitement par l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique sur les taux d'acidité de cinq variétés de blé tendre. Les résultats correspondent à la moyenne de trois essais, Les barres d'erreur correspondent à la SEM. E1 : Aguilal Témoin; E2 : Aguilal Traité; E3 : Tellila Témoin; E4 : Tellila Traité; E5 : Mercouch Témoin; E6 : Mercouch Traité; E7 : Achtar Témoin; E8 : Achtar Traité; E9 : Amal Témoin; E10 : Amal Traité. (***, **, * effet significatif pour 0,001 ; 0,01 ; 0,05).

3.6 LE TAUX DE L'HUMIDITÉ

L'effet induit par le traitement herbicide étudié sur les teneurs en eau par rapport à des témoins est illustré sur la figure 7. Le taux d'humidité des échantillons de blé traités, a diminué considérablement pour les cinq variétés de blé tendre pour atteindre les valeurs de $12,26 \pm 0,16\%$ chez la variété Aguilal, $12,29 \pm 0,32\%$ (Tellila), $11,91 \pm 0,07\%$ (Merchouch), $13,02 \pm 0,02\%$ (Achtar) et $14,60 \pm 0,04\%$ (Amal).

L'analyse de la variance à deux facteurs (variété traitée et variété non traitée), montre qu'il existe une différence hautement significative ($P < 0,01$) entre les différentes variétés.

D'après les références citées, [10], [24], [25], [29], [31], [32], l'humidité relative qui est la quantité d'eau libre disponible dans l'échantillon, est responsable de plusieurs phénomènes d'altération biologique de la farine. La diminution des teneurs en eau permet de classer les échantillons du blé traité dans la catégorie des produits peu hydratés.

3.7 LE TAUX DES MINÉRAUX TOTALES

Le résultat du taux des minéraux (figure 8) chez les échantillons témoins, indique que ce taux est compris entre $1,04 \pm 0,08\%$ pour la variété Amal et $1,87 \pm 0,01\%$ pour la variété Achtar. Ces valeurs sont en accord avec celles citées par Feillet [37], qui affirme que le taux en minéraux chez le blé tendre devrait être compris dans l'intervalle 1,5-2,5%. Par contre, chez les échantillons traités, ce taux peut aller de $1,38 \pm 0,03\%$ pour la variété Achtar à $1,69 \pm 0,04\%$ pour la variété Merchouch.

L'analyse de la variance à deux facteurs, révèlent des différences entre les échantillons étudiés, elles sont très hautement significatives ($P < 0,001$) chez les variétés Aguilal, Tellila et Amal.

Les minéraux sont présents dans le grain de blé en une petite quantité, et en proportion encore plus faible dans l'albumen, moins de 1% [58]. Le blé contient du fer, du potassium, du magnésium, du manganèse, du cuivre et du zinc. Ces constituants sont distribués principalement dans les couches extérieures et dans le germe [62].

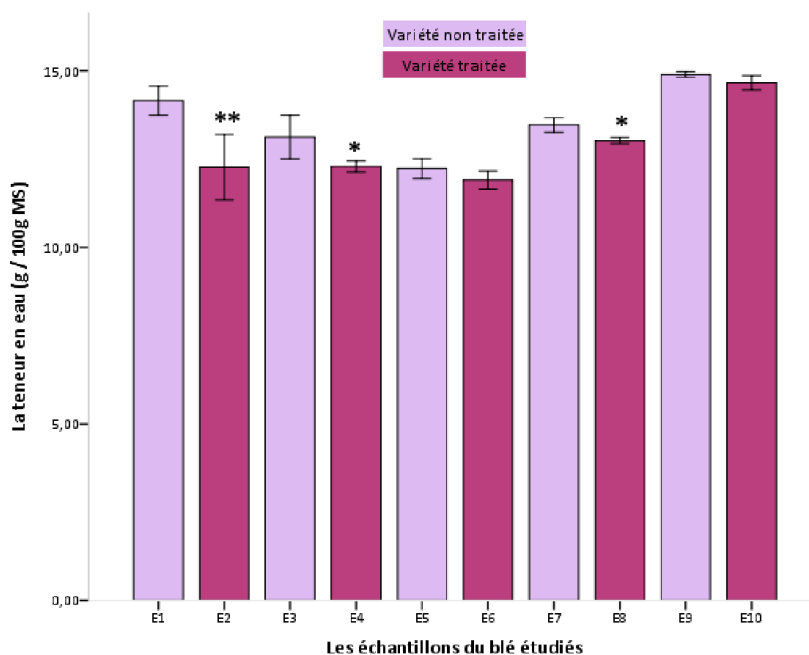


Fig. 7. Effet du traitement par l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique sur les teneurs en eau de cinq variétés de blé tendre. Les résultats correspondent à la moyenne de trois essais, Les barres d'erreur correspondent à la SEM. E1 : Aguilal Témoin; E2 : Aguilal Traité; E3 : Tellila Témoin; E4 : Tellila Traité; E5 : Mercouch Témoin; E6 : Mercouch Traité; E7 : Achar Témoin; E8 : Achar Traité; E9 : Amal Témoin; E10 : Amal Traité. (***, **, * effet significatif pour 0,001 ; 0,01 ; 0,05).

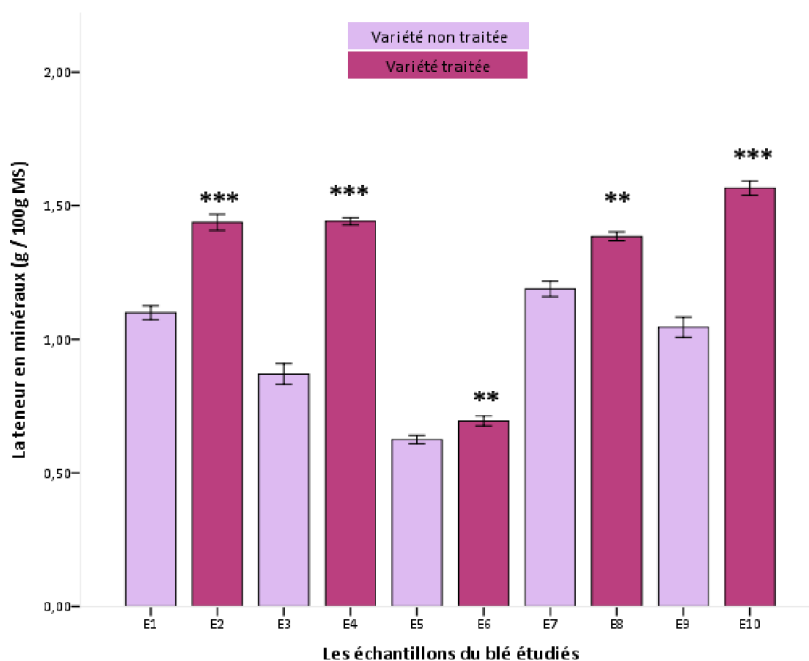


Fig. 8. Effet du traitement par l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique sur les teneurs en minéraux de cinq variétés de blé tendre. Les résultats correspondent à la moyenne de trois essais, Les barres d'erreur correspondent à la SEM. E1 : Aguilal Témoin; E2 : Aguilal Traité; E3 : Tellila Témoin; E4 : Tellila Traité; E5 : Mercouch Témoin; E6 : Mercouch Traité; E7 : Achar Témoin; E8 : Achar Traité; E9 : Amal Témoin; E10 : Amal Traité. (***, **, * effet significatif pour 0,001 ; 0,01 ; 0,05).

3.8 LE TAUX DE L'AMIDON, ET DES GLUCIDES TOTAUX

Les résultats obtenus pour les taux de l'amidon et des glucides totaux sont représentés dans le tableau 3. D'après les résultats obtenus, le blé témoin renferme un taux en amidon qui peut varier de $64,50 \pm 0,30\%$ chez la variété Achtar à $69,85 \pm 0,53\%$ chez la variété Tellila. Ces valeurs sont comprises dans l'intervalle 65-75% publié par Hemery et al. [64]. Concernant le blé traité, le taux de d'amidon total est de l'ordre de $68,60 \pm 0,33\%$ (Achtar) et $70,31 \pm 0,17 \%$ (Merchouch). On peut constater qu'il y a une légère augmentation des échantillons traités par rapport au témoin. Un des intérêts nutritionnels des céréales repose sur les glucides qui sont présents dans les céréales sous forme d'amidon qui doit être dégradé par plusieurs enzymes successifs pour aboutir au glucose. Cette lenteur de dégradation et d'assimilation cellulaire permet à l'énergie fournie d'entretenir les besoins de l'organisme de façon continue [63].

Les résultats obtenus des fractions glucidiques totales (glucides simples, amidon et fibres) dans l'échantillon de blé témoin, montrent une valeur de $67,05 \pm 0,01\%$ pour la variété Achtar et $70,82 \pm 0,01\%$ pour la variété Merchouch, alors que pour les échantillons traités, ces valeurs peuvent varier de $69,75 \pm 0,01\%$ pour la variété Achtar à $71,41 \pm 0,07\%$ pour la variété Merchouch. Ces valeurs sont comprises dans l'intervalle 60-80 % cité par Dunford [65].

Tableau 3. Effet du traitement par l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique sur les teneurs en amidon et en glucides totaux de cinq variétés de blé tendre. Les résultats correspondent à la moyenne de trois essais, Les barres d'erreur correspondent à la SEM. (***) ; ** ; * effet significatif pour 0,001 ; 0,01 ; 0,05).

Les échantillons		La teneur en amidon (g/100g MS)	La teneur en glucides totaux (g/100g MS)
Aguilal	Témoin	$68,120 \pm 0,012$	$69,842 \pm 0,080$
	Traité	$70,273 \pm 0,435$	$71,415 \pm 0,007$
Tellila	Témoin	$69,851 \pm 0,537$	$70,076 \pm 0,006$
	Traité	$69,303 \pm 0,661$	$70,410 \pm 0,010$
Merchouch	Témoin	$69,646 \pm 0,381$	$70,820 \pm 0,009$
	Traité	$70,316 \pm 0,176$	$71,147 \pm 0,011$
Achtar	Témoin	$64,500 \pm 0,307$	$67,054 \pm 0,009$
	Traité	$68,600 \pm 0,335$	$69,756 \pm 0,008$
Amal	Témoin	$66,256 \pm 0,493$	$67,797 \pm 0,006$
	Traité	$69,233 \pm 0,233$	$70,277 \pm 0,009$

4 CONCLUSION

Les herbicides constituent un moyen de lutte, le plus efficace contre les maladies majeures des plantes cultivées, et qui sont nécessaires dans le maintien, voire l'augmentation des rendements agricoles. Cependant, la plupart de ces molécules sont difficilement biodégradables. Leur utilisation massive et répétée peut engendrer des conséquences néfastes pour toutes les composantes de l'environnement. Les dommages causés sur les plantes peuvent se manifester de plusieurs façons. Ils peuvent aller de marques visibles (lésions nécrotiques) à la mort prématurée des plantes en passant par un ralentissement de croissance et une baisse de rendement. Les symptômes peuvent aussi être lents à se manifester et entraîner le jaunissement ou la chlorose de la feuille [66].

Les pesticides pénètrent dans les feuilles par les stomates et sont transportés à l'intérieur des cellules et peuvent ainsi nuire à la respiration normale et aux mécanismes de la photosynthèse en altérant la chlorophylle, le transport des électrons et la phosphorylation oxydative. Ils peuvent également perturber l'activité biochimique dont la synthèse des glucides et des acides aminés. Cependant, l'utilisation de doses modérées peut avoir des conséquences moindres sur la synthèse des composés du métabolisme primaire de la plante [12], [66].

Cette étude nous a permis de faire un premier constat de l'influence d'un herbicide, largement utilisé au Maroc, sur la physiologie et la biochimie des graines des épis du blé tendre : *Triticum aestivum* L. Les résultats obtenus montrent que les échantillons du blé traité présentent des taux différents hautement significatives, supérieurs ou inférieurs, par rapport au blé non traité qui peut atteindre pour : les lipides ($2,92 \pm 0,01\%$), les protéines ($13,81 \pm 0,03\%$) l'acidité ($0,09 \pm 0,01\%$), l'humidité ($14,60 \pm 0,04\%$), les minéraux ($1,69 \pm 0,04\%$) et les glucides totaux ($71,41 \pm 0,07\%$). Les variations de ces paramètres physico-chimiques entre les deux échantillons du blé tendre sont certainement dues au changement des processus métaboliques déjà cités, résultant du traitement herbicide, qui réagit autant qu'hormone de croissance (auxine) et qui provoque des divisions anarchiques des cellules.

Le 2,4-D agit sur les tissus vasculaires de la plante en provoquant une accélération de la division cellulaire, une stimulation de la croissance anormale des cellules [67], une élévation de la plasticité de la paroi cellulaire, une augmentation de la biosynthèse des protéines et de la production d'éthylène [68]. Les plantes absorbent le 2,4-D par l'intermédiaire de leurs racines et leurs feuilles pendant 4 à 6 heures après le traitement. Après l'absorption foliaire, le 2,4-D migre dans le phloème vers les méristèmes. Son accumulation se produit dans les régions méristématiques, les pousses et les racines [69]. Les plantes traitées avec le 2,4-D présentent souvent des malformations des feuilles, des tiges, des racines et des épis. Les plantes résistantes converti le 2,4-D de forme chimique actif en forme inactif, non toxique, tandis que les plantes sensibles le converti en acides aminés conjugués qui font un obstacle au métabolisme normale des acides nucléiques et à la synthèse des protéines [68].

RÉFÉRENCES

- [1]. B. Rolland, A. Champion et F. Oury, « Pourquoi sélectionner de nouvelles variétés de blé tendre adaptées à l'agriculture biologique? ». Courrier de l'environnement de l'INRA n° 62, 2012.
- [2]. I. Savini, « Pesticides, agriculture et environnement: réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux ». Institut national de la recherche agronomique (INRA). Expertise Collectif. Editions Quae, 119 pages, 2007.
- [3]. A. Kesraoui, « Dégradation des pesticides chlortoluron, carbofurane et bentazone en milieux aqueux par les procédés d'oxydation avancée ». Thèse de Doctorat. Universités Paris-Est et Tunis El Manar, 2008.
- [4]. F. Choulet, A. Alberti, S. Theil, N. Glover, V. Barbe, J. Daron, L. Pingault, P. Sourdille, A. Couloux, E. Paux, P. Leroy, S. Mangenot, N. Guilhot, J. Le Gouis, F. Balfourier, M. Alaux, V. Jamilloux, J. Poulain, C. Durand, A. Bellec, C. Gaspin, J. Safar, J. Dolezel, J. Rogers, K. Vandepoele, J. Aury, K. Mayer, H. Berges, H. Quesneville, P. Wincker and C. Feuillet, "Structural and Functional Partitioning of Bread Wheat Chromosome 3B". Science, 2014.
- [5]. N. Akasbi, 2012, « Une nouvelle stratégie pour l'agriculture marocaine le Plan Maroc Vert ». New Medit N. 2/2012. Jel code: Q18, 2012.
- [6]. C. Bottier, « Caractérisation des puroindolines, des galactolipides du blé et de leurs interactions : mesures physiques aux interfaces ». Thèse de Doctorat en Sciences de la Matière. Université de Rennes 1. N° d'Ordre : 3345. France, 2006.
- [7]. C. Debiton, « Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy ». Thèse de doctorat. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand. N° d'Ordre : 2067. France, 2010.
- [8]. V. Lesage, « Contribution à la validation fonctionnelle du gène majeur contrôlant la dureté/tendreté de l'albumen du grain de blé par l'étude de lignées quasi-isogéniques ». Thèse de Doctorat. Université Blaise Pascal et Université d'Auvergne. N° d'Ordre : 2200, 2011.
- [9]. C. David, J. Abecassis, M. Carcea, F. Celette, G. Hellou, J. Friedel, J. Hiltbrunner, P. Mader, M. Messmer, V. Narducci, J. Peigné et I. Thomsen, « Améliorer la qualité technologique, nutritionnelle et sanitaire du blé biologique. Principaux leviers agronomiques et technologiques ». Innovations Agronomiques 32, 2013.
- [10]. K. Doukani, S. Tabak, F. Gourchala, F. Mihoub, M. Ounes et M. Benbaguara, "Caractérisation physico-chimique du blé fermenté par Stockage Souterrain (Matmora)" Revue Ecologie-Environnement (9), 2013.
- [11]. G. Fooz, T. Gaspar and M. Bouillenne-Walrand. « Acide 2,4-Dichlorophénoxyacétique et catabolisme auxinique chez *Hordeum* et *Triticum* ». Weed Research. 6(4), 359–367, 2006.

- [12]. S. Dulaurent, « Mise en place d'outils d'aide au traitement des demandes de dosage de pesticides dans les milieux biologique ». Thèse de Doctorat. Faculté de Pharmacie. Université de Limoges, 2010.
- [13]. M. Tessier et G. Leroux, « L'application d'herbicide en bandes, sa mise en œuvre, ses avantages et ses conditions de réussite ». Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 02-0149, 2004.
- [14]. A. Piron, B. Dumont et M. Destain, « La vision artificielle: une méthode d'avenir pour la reconnaissance automatisée des plantes adventices? ». *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 15 (4), 623-634, 2011.
- [15]. S. Deblay, « Croissance et développement des plantes cultivées ». Dossier d'autoformation. Educagri Editions, 97 pages, 2005.
- [16]. S. Lanouari, « Étude de l'effet du traitement foliaire par l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique sur l'aptitude à l'androgénèse *in vitro* chez le blé tendre (*Triticum aestivum*) ». Mémoire de Fin d'Etudes pour l'Obtention du Diplôme Master Sciences et Techniques Université Hassan 1er, Faculté des Sciences et Techniques, Settat, 2009.
- [17]. E.G. Blight and W.J. Dyer, "A rapid method of total lipid extraction and purification". *Can. J. Biochem. Physiol.* 37: 911-917, 1959.
- [18]. H.K. Mangold, "Thin layer chromatography of lipids". *J. Am. Oil Chemist's Soc.* 38: 708-724, 1961.
- [19]. M.A. Heape, H. Juguelin, F. Boiron and C. Cassagne, "Improved One-dimensional thin layer chromatographic technique for polar lipids". *Journal of Chromatography.* 322: 391-395, 1985.
- [20]. P.S. Chen, T.Y. Toribara and H. Warner, « Method of phosphate analysis ». *Anal Chem*; 28: 1756-8. 1956.
- [21]. NF V03-050, « Agricultural Food Products: General Directions for the Determination of Nitrogen by the Kjeldahl method ». Association française de normalisation, 1975.
- [22]. A.Doumandji, L. Boutekrabt, N. Saidi, S. Doumandji, D. Hamerouch et S. Haouari, « Etude de l'impact de l'incorporation de la spiruline sur les propriétés nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du couscous artisanal ». *Journal Nature et Technologie.* 6(3), 40-50, 2012.
- [23]. A.Garané, M. Sawadogo, K. Some, M. Traoré et X. Péquénio, « Influence des facteurs agro-écologiques et des herbicides sur le rendement et les caractéristiques technologiques des grains et farines de blés tendres (*Triticum aestivum* L.) et durs (*Triticum durum* Desf.) ». *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(3): 1210-1220, 2013.
- [24]. N. Hennouni, « Evaluation du métabolisme respiratoire et enzymatique des racines de blé dur (*Triticum durum* Desf) issues de plantes infectées par les maladies cryptogamiques et de plantes traitées avec un fongicide (ARTEA EC 330) ». Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences. Université Badji Mokhtar Annaba, 2012.
- [25]. A. Lasmé, « Etude des bases biochimiques et physicochimiques de la valeur meunière du blé tendre à l'aide de lignées quasi-isogéniques pour la dureté ». Thèse de Doctorat. Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques de Montpellier, 2011.
- [26]. AFNOR, « Aliments et produits animaux : Dosage du phosphore total, méthode spectrophotométrique ». Norme française NF V18-106, Paris, 1980.
- [27]. C Ghouini et R. Hafidi, « L'effet De La Fertilisation Phosphatée Sur Les Caractéristiques Biochimiques Du Blé Dur (*triticum durum* var. *Simeto*) Dans La Région Saharienne EL-GOLEA ». Mémoire du D.E.S en Biologie. Faculté des Sciences de la Nature, de la Vie, de la Terre et de l'Univers. Université Kasdi-Merbah Ouargla, 2012.
- [28]. K. Sall, « Contrôle de qualité des farines céréalières mises sur le marché au Sénégal ». Mémoire de doctorat en Pharmacie. Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie. Université de Dakar, 1998.
- [29]. S. Soro, G. Konan, E. Elleingand, D. N'guessan and E. Koffi, «Formulation d'aliments infantiles a base de farines d'igname enrichies au soja ». *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Devellopement.* 13(5), 8313-8339, 2013.
- [30]. NF V 03-707, « Céréales et produits céréaliers. Détermination de la teneur en eau ». Méthodes de références. 23 p. 2010.
- [31]. J. L. Multon, « Conservation et Stockage Des Grains et Graines et Produits Dérivés-Céréales, oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux ». Ed. Lavoisier, Paris, 576 p, 1982.
- [32]. M. Gacem, A. Khelil et B. Gacemi, « Etude de la qualité physico-chimique et mycologique du blé tendre local et importe stocke au niveau de l'office algérien interprofessionnel des céréales (Oaic) de la localité de Saida (Algérie) ». *Algerian journal of arid environment.* 1(2), 67-76, 2011.
- [33]. NF V03-720, « Céréales et produits céréaliers. Dosage du taux des cendres par incinération ». Méthodes de références. 17 p, 2010.
- [34]. P. Thivend, C. Mercier et A. Guilbot, « Dosage de l'amidon dans les milieux complexes ». *Ann. Bil. Anim., Bioch., Biophys,* 5 (4), 513-526, 1965.
- [35]. M. Sindic, « Valorisation de l'amidon de blé: Incidences des modalités de culture sur les propriétés techno-fonctionnelles ». Edition Presses Agronomiques de Gembloux, 74 pages, 2010.

- [36]. R. Jeantet, T. Croguennec, P. Schuck et G. Brule, « Sciences des aliments: Biochimie-Microbiologie-Procédés-Produits ». Ed. Tec et Doc Lavoisier, Paris.453 p, 2006.
- [37]. P. Feillet, « Le grain de blé, composition et utilisation ». INRA Editions. 24, 2000.
- [38]. R. Guinet, « Technologie du pain français ». Ed. B.P.I., Paris, 182 p., 1992.
- [39]. M. Ouzouline, N. Tahani, A. Elamrani et H. Serghini, « Comparaison de la composition lipidique de grains de blé dur et blé tendre de variétés marocaines ». Les technologies de laboratoire. 15(Mai-Juin), 9-15, 2009.
- [40]. D. Marion, L. Dubreil and J.P. Douliez, "Functionality of lipids and lipid-protein interactions in cereal-derived food products". OCL. 10(7), 47-56, 2003.
- [41]. N. Haard, S.A. Odunfa and H.O Lee, "Fermented cereals: A global perspective". Food and Agriculture Organization of the United Nations. 114p, 1999.
- [42]. N.L. Ruibal-mendieta, D.L. Delacroix and M. Meurens, "A comparative analysis of bound and total lipid content on Spelt and Winter Wheat Wholemeal", J. of cereal Sc, 35: 337-42, 2002.
- [43]. N.L. Ruibal-mendieta, A. Dekeyser, D.L. Delacroix, E. Mignolet, Y. Larondelle and M.Meurens, "The oleate/palmitate ratio allows the distinction between wholemeal of Spelt (*Triticum spelta* L.) and winter Wheat (T. aestivum L.)". J Cereal Sc. 39: 413-15, 2004.
- [44]. I. Konopka, S. Czaplicki and D. Rotkiewics, "Differences in content and composition of free lipids and carotenoids in flour of spring and winter wheat cultivated in Poland". 95: 290-300, 2005.
- [45]. D.H. Simmonds, "Wheat and wheat quality in Australia. Fundamental aspects of Wheat quality: the lipid fraction". Queensland, CSIRO Australia, 1989.
- [46]. O.K. Chung and J.B. Ohm, "Wheat lipids as a quality determinant". In proceeding of the international wheat quality conference, Manhatan, Kansas, USA. 83-100, 1997.
- [47]. J. C. Cheffel, « Introduction à la Biochimie et à la Technologie des aliments ». Ed. Tec et Doc Lavoisier, Paris, 105-142, 1977.
- [48]. C.Y. Liu and K.W. Shepherd, "Inheritance of B subunits of glutenin and gliadins in tetraploid wheats". Theor. Appl. Genet. 90(2), 1149-1157, 1995.
- [49]. B.N. Otteson, M. Mergoum and J.K. Ransom, "Seeding rate and nitrogen management effects on spring wheat yield and yield components". Agronomy Journal. 99(3), 615-621, 2007.
- [50]. M. Casagrande, C. David, M. Valantin, D. Makowski and M.H Jeuffroy, "Factors limiting the grain protein content of organic winter wheat in south-eastern France: a mixed-model approach". Agronomy for Sustainable Development. 29(3): 565-574, 2009.
- [51]. T.S. Tran and G.Tremblay, "Recovery of 15N-labeled fertilizer by spring bread wheat at différent N rates and application times". Canadian Journal of Soil Science. 74: 279-285, 2000.
- [52]. M.C. Manna, A. Swarup, R.H. Wanjari, B. Mishra and D.K. Shahi, "Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields". Soil Tillage Res. 94(4), 397-409, 2007.
- [53]. C. Mok, "Mixing properties of durum wheat semolina as influenced by protein quality and quantity". Food and Technology. 6 (1), 1-4, 1997.
- [54]. H. Kloskowski, "Plant availability of bound anilazine residues in a degraded loess soil". J. Environ. Scien. Health. 6(2), 487-505, 1992.
- [55]. A. Dec, "Analysis of soil bound residues of C13 labelled fungicide cyprodinil by NMR spectroscopy". Environ. Sci. techno. 3(3), 1128-1135, 1997.
- [56]. O. Bordjiba et A. Ketif, « 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, 2009.
- [57]. D.A. Martin, S.D. Miller, H.P. Alley, "spring wheat response to herbicides applied at three growth stages". Agron. J. 82(1), 95-97, 1990.
- [58]. S. Matz, "The chemistry and technology of cereals as food and feed". Second Edition. Springer. 751 p, 1991.
- [59]. J.C. Lambert, J.P. Delhay et B. Toussaint, « La fertilisation phosphorique et La conduite rationnelle des herbages en région tempérée ». Phosphore et agriculture, 76 (2), 7-16, 1979.
- [60]. P. Soins et P. Vaysse, « Fertilisation des vergers. Environnement et qualité ». Edition CTIFL. 47-52, 1999.
- [61]. J. Baeyens, « Nutrition des plantes de culture ou physiologie appliquée aux plantes Agricoles ». Edition Naiwelaerts Louvain. 278 p, 1967.
- [62]. N. Manay Shakuntala, M. Shadaksharaswamy, "Foods: Facts and principles". Second Edition. New Age International Publishers, 2001.
- [63]. T. Souccar, « Etude des composés phénoliques en tant que marqueurs de biodiversité chez les céréales ». Mémoire de magister en Nutrition et Technologie Agro-alimentaire. Université Mentouri de Constantine, 2006.

- [64]. Y. Hemery, X. Rouau, V. Lullien-Pellerin, C. Barron, and J. Abecassis, "Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality". *Journal of Cereal Science*. 46 (3), 327–347, 2007.
- [65]. N. T. Dunford, "Food and industrial bioproducts and bioprocessing". Wiley-Blackwell; 392p, 2012.
- [66]. Z. Domminique, « Les résidus de pesticides dans les plantes ». Edition INRA. 97 p, 2000.
- [67]. R. Mullison and R. Wendell, "Environmental Fate of Phenoxy Herbicides." In *Fate of Pesticides in the Environment*. Edition Agricultural Experiment Station, University of California. 3320(6), 1987.
- [68]. Anonyme, "Pesticide Background Statements". U.S.D.A., Forest Service. In *Agricultural Handbook*, 633(1), 1984.
- [69]. Anonyme, "2, 4-Dichlorophenoxyacetic acid". National Pesticide Télécommunications Network, Technical Fact Sheet. National Pesticide Information Center. Oregon State University, 2008.