

ETUDE DE LA GESTION RAISONNEE DE LA FERTILISATION ET DES POURRITURES RACINAIRES SUR LE RENDEMENT D'UNE COLLECTION MAROCAINE DU BLE

SALAMA Youssef^{1*}, CHENNAOUI Mohammed², EI AMRAOUI Mohammed³

⁽¹⁾Département de Biologie, Faculté Polydisciplinaire de Khouribga
Université Hassan 1er, Maroc.

⁽²⁾Centres régionaux des métiers de l'éducation et de la formation (CRMEF)
Laboratoire des Sciences de la Vie et de la Terre (SVT), 24000 El Jadida, Maroc.

⁽³⁾Laboratoire Contrôle Qualité en Bio-industrie et Molécules Bioactives
Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali, El Jadida, 24000 Maroc.

E-mail: salama.youssef@gmail.com

Résumé.- L'agriculture au Maroc est considérée comme un secteur stratégique important pour l'avancement de l'économie nationale. Cependant au cours de ces dernières années, le développement des cultures de blé tendre et blé dur a connu une faiblesse de rentabilité. Cette faiblesse est due au problème de stress biotiques tels que la pourriture racinaire induite par *Fusarium culmorum*. Les expériences réalisées sur vingt types de blé et avec 3 types de fertilisation azotée : 21% (ammonitrate); 46% (urée); 33% (sulfate d'ammoniaque), ont montré que la fertilisation azotée sous forme d'urée a stimulé le développement de la maladie de pourriture racinaire. Par contre la fertilisation complète (N, P et K) a réduit le développement de la maladie. Donc il parait bien que la gestion de la fertilisation azotée est la solution idéale pour le contrôle de cette maladie. Néanmoins, il vaut mieux suivre les recherches et les expériences afin de développer des solutions efficaces pour la lutte finale contre cette maladie.

Mots clés: Pourritures racinaires, fertilisation raisonnée, blé dur, blé tendre, *Fusarium culmorum*.

STUDY OF RATIONAL FERTILIZATION MANAGEMENT AND ROOT ROT DISEASE ON THE PERFORMANCE OF A MOROCCAN COLLECTION OF WHEAT

Abstract.- The Agriculture in Morocco is considered an important strategic sector for the advancement of the national economy. However, in recent years, the development of soft wheat and durum has experienced weak profitability. This weakness is due to biotic stress problem such as root rot caused by *Fusarium culmorum*. Experiments conducted on twenty types of wheat and 3 types of nitrogen fertilization: 21% (ammonium nitrate); 46% (Urea); 33% (ammonium sulfate), showed that nitrogen fertilization as urea has stimulated the development of root rot disease. By against the complete fertilization (N, P and K) reduced the development of disease. So it seems that the management of nitrogen fertilization is the ideal solution for controlling this disease. Nevertheless, it is better to follow the research and experience to develop effective solutions for the final fight against this disease.

Key words: Root rots, fertilization, durum wheat, soft wheat, *Fusarium culmorum*.

Introduction

La céréaliculture occupe une place primordiale dans l'agriculture marocaine, occupant une superficie annuelle de 5 millions d'hectare dont 1,1 million ha sont réservés au blé dur. L'amélioration de la production de cette culture est assujettie en premier lieu au contrôle

des contraintes biotiques, notamment les pourritures racinaires. Ces maladies s'attaquent à toutes les céréales d'automne [1] y compris l'orge, et sont plus confinées aux zones arides et semi-arides [2-4].

La fusariose de l'épi provoque chez le blé des pertes de rendement qui peuvent être très importantes en cas d'attaque grave, mais aussi une contamination du grain par des mycotoxines qui peuvent déprécier la qualité de la récolte. Il n'existe pas pour l'instant de possibilité de lutte chimique efficace contre cette maladie fongique qui se développe lorsqu'une période humide se produit au moment de la floraison. Des différences de comportement entre génotypes de blé tendre ont été signalées dès 1942 par DICKSON, mais aucun niveau de résistance très élevé n'a été trouvé [5].

Au Maroc, les pertes de rendement dues aux pourritures racinaires ne sont pas négligeables et peuvent être très importantes lors des épisodes de croissance [6]. Ces pertes oscillent entre 20 à 51% [7], et sont au même niveau que celles estimées à l'échelle internationale [2]. Les symptômes les plus apparents des pourritures racinaires sont la fonte de semis et le symptôme d'épi blanc [8], et le dessèchement des jeunes plants [9]. Quand les semences de blé sont fortement infestées, on a toujours des problèmes en pré ou post-émergence entraînant une mort précoce des plantules [3, 8].

En vue d'atteindre un niveau stable de la production des blés dans les zones arides et semi-arides, il sera nécessaire de résoudre le problème des pourritures racinaires, et d'identifier de nouvelles ressources génétiques de résistance.

Le présent travail propose d'abord une première étude de cet aspect relatif aux pathogènes du blé tout en faisant un point de situation à l'échelle régionale (Chaouia-Ouardigha) pour étudier et évaluer une collection des blés disponibles au Maroc et étudier leur niveau de résistance ou sensibilité vis-à-vis de l'agent pathogène *Fusarium culmorum* afin de sélectionner les meilleurs génotypes résistants. Une deuxième étude a pour objective d'identifier et d'adopter une méthode de raisonnement de la fertilisation du blé, qui permet de réduire les apports d'engrais minéraux et de minimiser les risques pour l'environnement.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Matériel végétal

Dans ce travail, il est étudié une collection de lignées de blé dur et blé tendre qui représente les ressources génétiques nationales de blé dur et tendre de la Banque de Gènes sise au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat (Maroc).

Tableau I.- Variétés de blé dur et tendre étudiées

Variétés de Blé tendre	Variétés de Blé dur
<i>Achtar</i>	<i>Belbachir</i>
<i>Agilal</i>	<i>Chawi</i>
<i>Faiza</i>	<i>Cocorit</i>
<i>Marchouch</i>	<i>Karim</i>
<i>Massira</i>	<i>Marzak</i>
<i>Poutan</i>	<i>Om rabi</i>
<i>Radia</i>	<i>Ourgh</i>

<i>Rihane</i>	<i>Sarif</i>
<i>Saada</i>	<i>Sebou</i>
<i>Tilila</i>	<i>Yassmin</i>

1.2.- Matériel fongique

1.2.1.- Séparation et isolement des champignons

La séparation et l'isolement des champignons contenus dans les racines de la plante ont pour but de les déterminer et de les quantifier. Les racines ou sous-collets des plantes présentant des symptômes des pourritures racinaires ont subi 5 lavages successifs pendant 15 mn dans une solution savonnée contenant de l'eau de javel à 10%, puis 3 rinçages avec de l'eau distillée stérile. Ensuite, les racines sont séchées sur papier-filtre stérile, découpées en petits fragments et déposées immédiatement sur le milieu PDA (Potato-Dextrose-Agar). Après 4 à 5 jours d'incubation à une température de 20°C et à une photopériode de 12 h, les colonies développées de champignons sont incubées sur milieu PDA, pour purification et multiplication, dans les mêmes conditions de laboratoire, pour la production d'inoculum. La méthode adoptée est celle de l'ensemencement par stries, à la surface du milieu PDA solidifié dans une boîte de Pétri. Les milieux ensemencés sont ensuite placés dans une étuve à une température de 28°C pendant cinq jours [10]; après les observations macroscopiques et microscopiques des cultures seront réalisées.

Les souches de champignons laissées croître en milieu de culture donnent des colonies observables à l'œil nu permettant ainsi une description macroscopique. Elles sont passées sous lames et lamelles pour l'identification microscopique. L'identification des champignons se fait en comparant les formes observées avec celles de bibliographies. Le comptage se fait au fur et à mesure de la description microscopique des souches.

1.2.2.- Purification de cultures de champignon

Une culture pure de champignon est une colonie d'une espèce donnée provenant de la croissance d'un seul germe de mycélium. Celle-ci doit donc être tout à fait homogène et constituée d'une seule espèce.

Son obtention se concrétise par l'isolement d'un germe pur provenant d'une culture encore hétérogène avec différents types de mycélium. La méthode utilisée ici est à peu près similaire à celle de l'ensemencement précédemment décrit. Mais le repiquage se fait en stries serrées ou en piqures sur milieux PDA contenus dans des tubes à essais inclinés. Le repiquage consiste alors à prélever à l'aide d'une anse (outil dont l'extrémité est un fil de platine en forme de boucle), le mycélium d'une colonie bien isolée et à l'ensemencer à la surface des milieux préparés. Les milieux ensemencés avec une souche unique sont mis à incuber à l'étuve à 28°C pendant 5 jours. Si les caractères morphologiques du mycélium de la colonie obtenue restent hétérogènes, on continue le repiquage jusqu'à ce qu'il soit certain qu'il n'y a qu'un seul germe [11].

1.3.- Préparation d'inoculum

1.3.1.- Préparation du milieu de culture PDA

Le milieu PDA (Potato Dextrose Agar) a été choisi pour assurer la culture de champignons. Il s'agit d'un milieu de routine à base de pomme de terre. Cette dernière

constitue un milieu complexe qui sert à l'isolement, l'entretien et la culture des champignons du sol.

Pour préparer 1 litre de PDA, nous avons utilisé 2 kg de pommes de terre, 20 g de sucre glucose et 20 d'Agar en paillette et de l'eau. Les pommes de terre épluchées et découpées en petits cubes sont macérées pendant environ une demi-heure dans 500 ml d'eau, puis cuites pendant 30 minutes. La bouillie obtenue est filtrée avec du coton. Les paillettes d'Agar sont ajoutées et la bouillie complétée à 1 litre. Le tout est remis à ébullition pendant 30 minutes. La gélose fond à une température supérieure à 45°C. Le liquide obtenu est filtré à chaud sur coton. Le glucose est ajouté et le volume ramené à 1 litre.

Le mélange est versé dans des éprouvettes bouchées par du coton et le tout est mis en autoclave. L'autoclave est maintenu à une température de 120°C (pression de 1 bar) pendant 30 minutes à 40 minutes, après quoi les soupapes sont ouvertes pour laisser refroidir [10]. Une fois les éprouvettes sorties de l'autoclave, le coulage se fait en versant le liquide préparé dans des boîtes de pétri. Le milieu de culture une fois refroidi et solidifié est prêt à recevoir les cultures de champignons.

1.3.2.- Dénombrement de *Fusarium culmorum*

Après avoir identifié le champignon comme étant le *F. culmorum* [11-13], les colonies développées sur le milieu PDA ont été immergées avec l'eau distillée et grattées avec un pinceau. La solution obtenue est filtrée à l'aide d'un tissu à mailles très fines. La concentration des conidies de la solution mère a été déterminée par un comptage des conidies à l'aide d'un hémacytomètre.

1.3.3.- Caractéristiques de *Fusarium culmorum*

Le *Fusarium* étudié est un champignon supérieur du royaume des Fungi, de la division des Eumycota, du phylum des Deutéromycètes ou Champignons imparfaits, du groupe des Hyphomycètes et de l'ordre des Moniliales [11, 14].

Après incubation, le milieu de culture PDA, présente des colonies dont le mycélium est blanc étendue et cotonneux, avec une teinte rose, pourpre ou jaune. Au microscope, les filaments sont hyalins. Les conidiophores sont variables incolores, fins et simples ou plus épais, courts, irrégulièrement ramifiés ou bien naissant en un ensemble de phialides simples ou groupés en sporodochia.

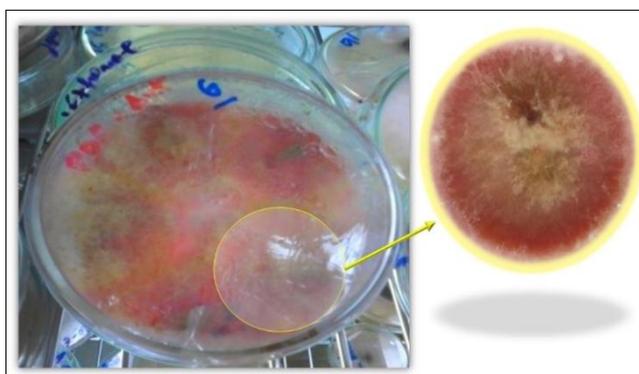


Figure 1.- Colonies de *Fusarium culmorum* sur le milieu PDA

1.4.- Inoculation du sol et installation de l'essai

1.4.1.- Inoculation du sol

Le sol utilisé est un sol argileux-limoneux prélevé du domaine expérimental de Sidi El Aidi de l'INRA. Après avoir séché le sol, ce dernier est tamisé et stocké dans des pots pour des utilisations ultérieures. Pour inoculer le sol, il est utilisé une solution de 100 ml de l'agent pathogène, différents, pour 4 kg de sol afin d'avoir un inoculum potentiel de 36×10^6 UFC/g de sol de *F. culmorum*.

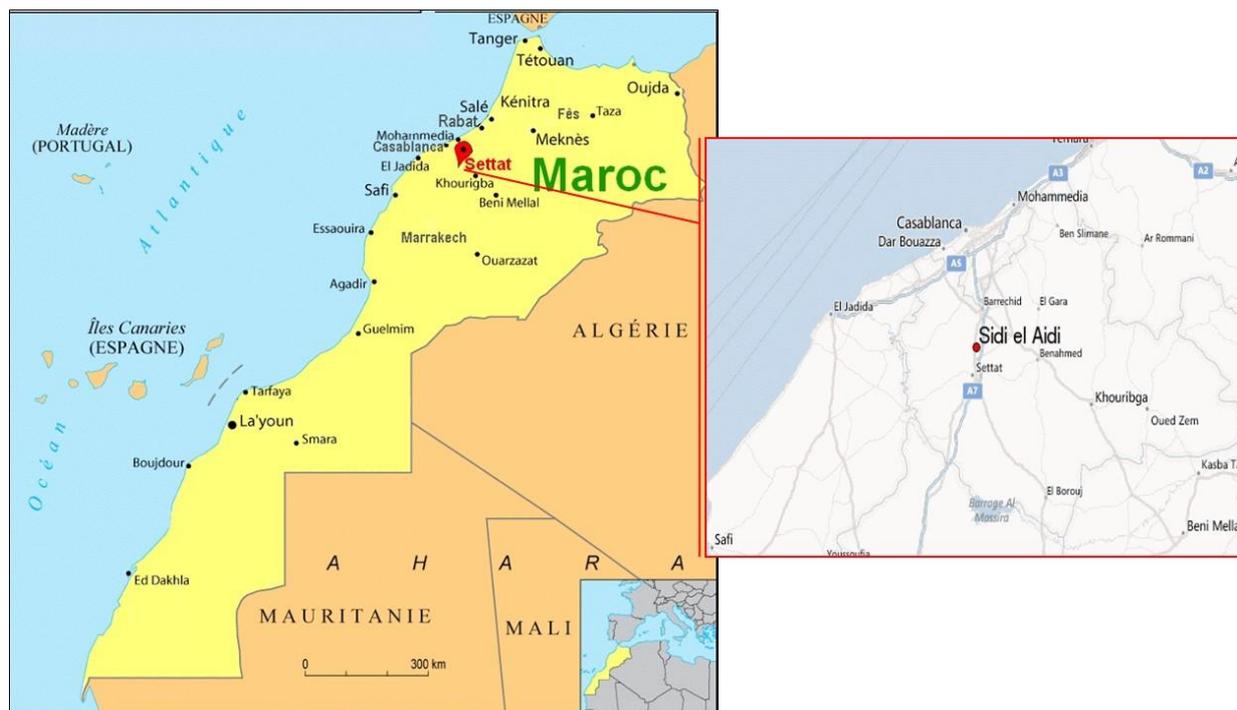


Figure 2.- Zone du prélèvement du sol étudié

Le sol inoculé le 18 décembre 2014 a été repartit dans des bacs de plastique de 11×7 trous ayant des dimensions de $4 \times 4 \times 4$ cm pour chaque trou. Chaque 3 trous renfermaient 5 grains chacune et représentaient une variété de blé. De la même façon, nous avons semé dans chaque bac une variété témoin (sans fertilisation ni inoculum) et sur une autre nous avons réalisé une fertilisation complète par les 3 éléments nutritifs (N, P et K).

1.4.2.- Dispositif expérimental

Après l'incubation des semences d'orge, elles sont séchées à l'air libre dans une serre pendant 10 jours, puis les graines sont broyées pour obtenir une poudre fine. Pour l'inoculation de l'agent pathogène *Fusarium culmorum*, il est utilisé en totalité 77 pots, formés de 7 lignes : chaque ligne est constituée de 11 pots et dont chaque pot on semis 5 grains de blé. L'inoculation se fait au niveau du collet.

Les bacs semés le 08 décembre 2014 sont placés dans une serre vitrée et arrosés régulièrement pour permettre le développement des plantes. L'irrigation et la fertilisation sont apportées selon les besoins de la croissance végétative des lignées.

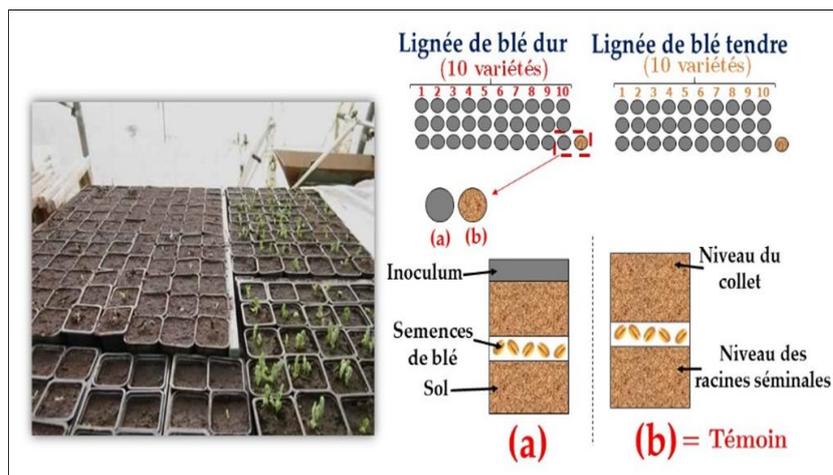
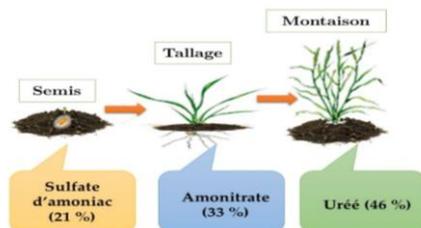


Figure 2.- Schéma représentatif du dispositif expérimental

1.4.3.- Forme et doses d'engrais azoté à base d'urée

Pour chaque échantillon il est ajouté les formes de fertilisant azoté, suivantes (sauf pour le témoin):



1.5.- Evaluation de la sévérité de la maladie chez les blés infectés

Après l'épiaison, il est dénombré le nombre de plantes germées dans chaque pot de l'expérience. Au niveau de serre et après quelques jours de récolte, nous avons commencé par l'estimation des nombres d'épillet infectés ainsi que nombre d'épillet sains (vert).



Figure 3.- Epi sain (a) et épi fusarié (b)

L'évaluation débutera par dénombrement du nombre de plantes germées par pot pour l'ensemble de l'essai après l'épiaison et afin d'évaluer la sévérité d'infection à l'issue des différents traitements, les plantes a été arrachées de chaque pot avec leur système racinaire. Au niveau de la serre et après quelques jours de récolte, nous avons commencé par l'estimation du nombre d'épillet infectés ainsi que le nombre d'épillet sains (vert). Pour le second cas d'évaluation; l'estimation des sévérités de fusariose sur la description de l'attaque au niveau du collet, du sous-collet et des racines séminales de chaque plante [15, 16].

Tableau II.- Echelle d'estimation de la sévérité chez les blés infectés par le *Fusarium culmorum*

Classe de Sévérité	Degré d'infection de la plante
Mort	Plante avec feuilles mortes.
Moyennement sensible	Plante sans épis.
Moyennement résistante	Plante avec épis blanc et avec feuilles mortes.
Résistante	Plante verte avec épis vertes.

L'indice de sévérité de la maladie est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Indice de sévérité (\%)} = (\sum (N_i \times S_i) / (N_t \times 5)) \times 100$$

N_i : Nombre de plantes dans la classe de sévérité i, i allant de 1 à 5,

S_i : Numéro de la classe sévérité,

N_t : Nombre total de plantes observées par lignée.

Tableau III. Échelle d'évaluation de la pourriture racinaire des céréales [17]

Classe de Sévérité	Degré d'infection de la plante
0	Pas de symptômes
1	Petites lésions nécrotiques dispersées au niveau du collet, du sous-collet et des racines séminales
2	Lésions nécrotiques distinctes et claires au niveau du système racinaire
3	Grandes lésions nécrotiques sur le collet, le sous-collet et les racines séminales
4	Pourriture sévère du système racinaire et chlorose de la plante
5	Plante morte

2.- Résultats et Discussion

Les données collectées à partir de l'expérimentation ont été traitées statistiquement. Une analyse de la variance (ANOVA) avec l'option Waller pour la comparaison des moyennes a été adoptée pour traiter les indices de sévérité des lignées testées selon le dispositif expérimental en blocs aléatoires complets à 3 répétitions. Les lignées ayant montré moins de sévérité ont été jugées comme résistantes à cette maladie.

2.1.- Comparaison des facteurs effecteurs sur l'indice de sévérité chez le blé tendre

Le tableau IV de l'analyse de la variance montre que l'effet de la fertilisation est très hautement significatif ($p = 0,0001$). Par contre, l'effet de l'espèce et leur interaction avec la fertilisation ne sont pas significatifs.

Tableau IV.- Analyse de la variance de l'effet de la fertilisation, espèce, et de leur interaction

Source	Degré de liberté du numérateur	Degré de liberté du dénominateur	F _{observée}	Probabilité
Fertilisation	4	572,00	280,57	0,0001
Espèce (blé tendre)	1	18	2,53	0,12
Fertilisation* espèce	4	572,00	0,97	0,42

Le tableau V présente, l'effet moyen des formes de fertilisation sur les sévérités de la maladie par comparaison au témoin. Il apparaît que l'addition de l'azote seul est responsable de l'augmentation de cette maladie, et la plus grande augmentation a été enregistrée par l'ajout de l'urée (77%). En comparaison au témoin, l'urée a presque triplé les niveaux de sévérité par rapport au témoin non fertilisé.

Tableau V.- Effet des types de fertilisation (complète, Ammonitrate, sulfate d'ammoniaque, et urée) sur la l'indice sévérité de la maladie et sa comparaison au témoin (*: différence significative)

Fertilisation	Moyenne	Pourcentage
Ammonitrate (33%)	0,57*	186
Sulfate d'ammoniaque (21%)	0,38*	93
Urée (46%)	0,77*	284
Fertilisation complète (N, P, K)	0,20	0
Témoin	0,20	-

La figure 4 suivante illustre bien ces différences d'influence de la fertilisation sur l'indice de sévérité en conséquent sur le développement de la maladie.

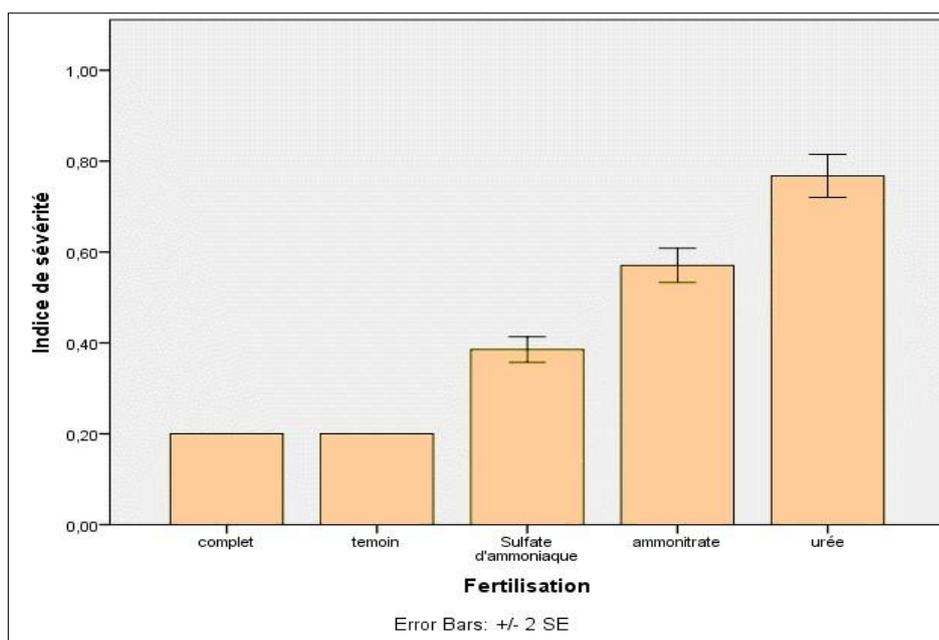


Figure 4.- Effet des formes de la fertilisation sur l'indice de sévérité des 20 variétés de blé

Lors de la comparaison de chacune des fertilisations azotées avec le témoin on peut dire que l'Ammonitrate, le sulfate d'ammoniaque, et l'urée ont augmenté la sévérité de maladie presque deux fois. Par contre, la fertilisation complète (N, P, K) n'a pas affecté la sévérité de maladie.

2.2.- Comparaison des facteurs effecteurs sur l'indice de sévérité chez le blé dur

Le Tableau VI montre que l'effet de la fertilisation, des variétés et de leur interaction sur l'indice de sévérité ont été tous significatifs.

Tableau VI. - Analyse de la variance de l'effet de la fertilisation, des variétés de blé dur

Source	Degré de liberté du numérateur	Degré de liberté du dénominateur	F _{observée}	Probabilité
Fertilisation	4	250,00	179,99	0,0001
Espèce (blé dur)	9	250,00	2,23	0,021
Fertilisation* espèce	36	250,00	1,47	0,050

Le tableau VII amène la comparaison de l'effet de la fertilisation sur l'indice de sévérité chez les variétés de blé dur et tendre.

D'après le tableau 7, nous remarquons que la fertilisation avec l'azote sous forme d'ammoniacale et d'urée qui a augmenté le plus la sévérité de la maladie de 170 à 300% par rapport au témoin non fertilisé et cela pour le blé tendre et le blé dur.

Tableau VII.- Estimations de moyenne et comparaison de l'effet de la fertilisation sur l'indice de sévérité chez le blé dur et tendre

Fertilisation	Indice de sévérité BD	Indice de sévérité BT	Augmentation BD %	Augmentation BT %
Ammonitrate	0,60	0,54	200	170
Complète	0,20	0,20	0	0
Sulfate d'ammoniacale	0,37	0,37	0,85	0,85
Urée	0,80	0,74	300	270
Témoin	0,20	0,20	-	-

La figure 5 montre très bien l'évolution de la maladie selon les types de fertilisation selon les variétés étudiées. Il est constaté que toutes les variétés ont vu leur sévérité augmentée d'une façon vertigineuse lorsqu'elles sont fertilisées avec l'urée.

Cette augmentation de la sévérité de la maladie pourrait aussi avoir un lien avec la concentration d'azote existante dans les fertilisants utilisés, étant donné que la sévérité de la maladie augmente avec la composition des fertilisants. De ce fait, il est constaté que plus la concentration azotée est élevée, et plus l'indice de sévérité est fort. Par contre la fertilisation complète n'a pas influencé le développement de la maladie malgré l'existence des agents causaux au niveau des collets des plantes infectées.

Conclusion

La pourriture racinaire du Blé, due à un complexe fongique, présente une menace pour la production céréalière marocaine. L'accent doit être mis sur la surveillance des régions céréalières afin de mettre en place des stratégies de lutte efficaces.

A partir des résultats d'analyse sur la fertilisation azotée par les différentes doses : ammonitrate (33%), sulfate d'ammoniacale (21%), l'urée (46%) et complète (N, K et P), sur vingt variétés de blé selon leur résistance et sensibilité spécifique vis-à-vis l'agent pathogène. Nous concluons que:

- La nature de la fertilisation azotée est importante pour résoudre le problème des pourritures racinaires de blé.
- La fertilisation complète (N, P et K) est la meilleure pour le contrôle de la maladie.

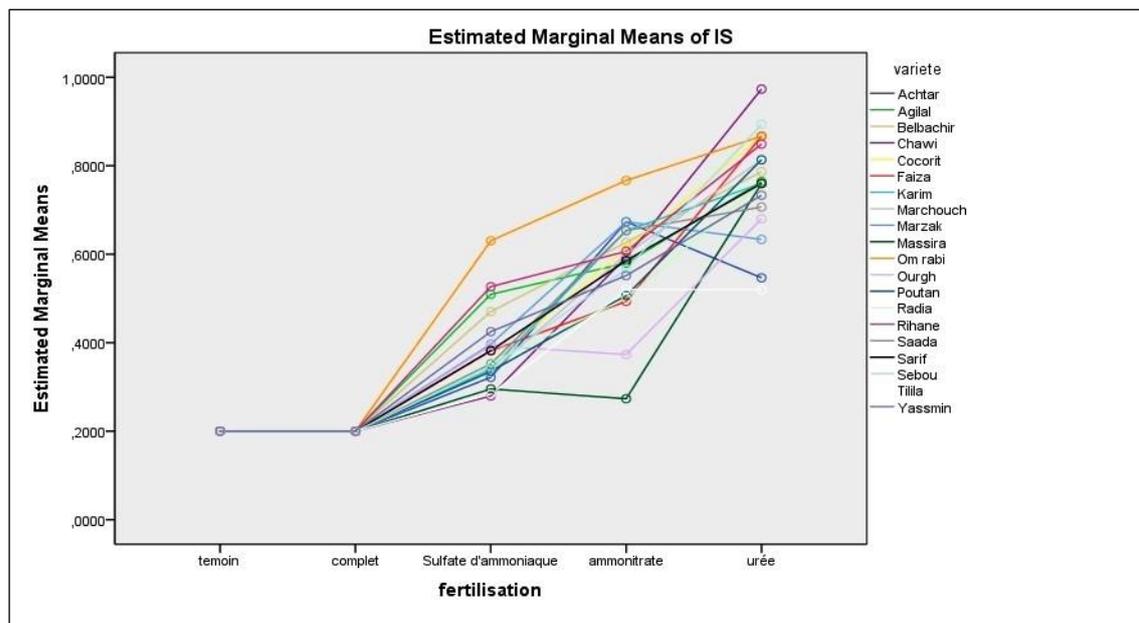


Figure 5.- Effet de la forme de la fertilisation sur l'indice de sévérité des 20 variétés de blé

En présence des pourritures racinaires induites par le *Fusarium culmorum*, il faut éviter l'utilisation d'azote sous forme d'urée seule. C'est-à-dire composé simple. Il vaudrait mieux utiliser une fertilisation composée (N, P et K) afin de contrecarrer les effets de cette maladie, et cela plus particulièrement sous les conditions des régions arides et semis aride du Maroc.

De ce fait et à l'issue de cette étude, il est recommandé de reconduire les essais au niveau de la serre et du champ afin de mettre encore plus en valeur l'effet de la fertilisation sur le développement de la maladie sous diverses conditions environnementales.

Références bibliographiques

- [1].- Bockus W. W., Bowden R. L., Hunger R. M., Morill W. L., Murray T. D., 2010.- Smiley R.W., Compendium of wheat diseases and pests: Third Edition. American Phytopathological Society, 170: 26-39.
- [2].- Smiley R. W., Gourlie J. A., Easley S. A., Patterson L-M., 2005.- Pathogenicity of fungi associated with the wheat crown rot complex in Oregon and Washington. Plant disease, 89: 949-57.
- [3].- Duthie J., Hall R., 1987.- Transmission of *Fusarium graminearum* from seed to stems of winter wheat. Plant pathology, 36: 33-7.
- [4].- Parry D., Pettitt T., Jenkinson P., Lees A., 1994.- The cereal *Fusarium* complex. Ecology of plant pathogens, 301-20.
- [5].- Zahri S., Farih A., Douira A., 2014.- Statut des principales maladies cryptogamiques foliaires du blé au Maroc en 2013. Journal of Applied Biosciences, 77: 6543-9.

- [6].- Zillinsky F. J., 1983.- Common diseases of small grain cereals. A guide to identification. Mexico, DF (Mexico): International maize and wheat improvement center (CIMMYT), 141 p.
- [7].- Mergoum M., 1991.- Effects of infection by *Fusarium acuminatum*, *Fusarium culmorum*, or *Cochliobolus sativus* on wheat. Dissertation Colorado State University, Thèse de doctorat, 146 p.
- [8].- Nyvall R. F., 2013.- Field Crop Diseases Handbook. Springer Science & Business Media, 817 p.
- [9].- Tinline R., 1994.- Etiology of prematurity blight of hard red spring wheat and durum wheat in Saskatchewan. Canadian Journal of Plant Pathology, 16: 87-92.
- [10].- Girard H., Rougieux R., 1967.- Techniques de microbiologie agricole: à l'usage des étudiants en agriculture et des techniciens des industries agricoles. Dunod, 216 p.
- [11].- Nelson P. E., Toussoun T. A., 1983.- *Fusarium Species: An Illustrated Manual for Identification*. Pennsylvania State Univ Pr, 226 p.
- [12].- Leslie J. F., Summerell B. A., 2008.- *The Fusarium laboratory manual*: John Wiley & Sons, 388 p.
- [13].- Leslie J. F., Zeller K. A., 2001.- Summerell B.A., Icebergs and species in populations of *Fusarium*. Physiological and Molecular Plant Pathology, 59: 107-17.
- [14].- Bouchet P., 2005.- *Les champignons: mycologie fondamentale et appliquée*. Elsevier Masson, 77 p.
- [15].- Saur L., Benacef N., Morlais J., 1993.- Relation entre les symptômes de fusariose de l'épi et la perte de rendement chez le blé tendre. Agronomie, 13: 829-33.
- [16].- El Jarroudi M., 2005.- Evaluation des paramètres épidémiologiques des principales maladies cryptogamiques affectant les feuilles du blé d'hiver au Grand-Duché de Luxembourg: calibration et validation d'un modèle de prévision, Thèse de doctorat, Université de Liège, Arlon, Belgique, 230 p.
- [17].- Greaney F., Machacek J., Johnston C., 1938.- Varietal resistance of wheat and oats to root rot caused by *Fusarium culmorum* and *Helminthosporium sativum*. Sci Agr., 18: 500-23.