

Nouveaux gènes de résistance efficaces contre la mouche de Hesse (*Diptère : Cecidomyiidae*) au Maroc

El Bouhssini M¹., Lhaloui S¹., Hatchett J.H².et Naber N³

¹ Laboratoire d'entomologie, Centre aridoculture (INRA), BP. 589, Settat, Maroc

² Department of Entomology and USDA-ARS, Kansas State University, Manhattan, Kansas, 66506, USA

³ Département de biologie, Faculté des sciences d'El Jadida

Résumé

Les risques d'apparition de nouveaux biotypes virulents de la mouche de Hesse, Mayetiola destructor (Say), incitent à élargir davantage la gamme de gènes de résistance disponibles pour lutter contre ce ravageur.

*Dans ce cadre, des tests ont été conduits au champ et sous serre pour identifier de nouvelles sources de résistance à la mouche de Hesse au Maroc. Les résultats montrent que les gènes H14H15, H21, H25 et H26 sont efficaces contre cet insecte. H14H15 et H26 confèrent un niveau élevé de résistance, similaire à celui du gène H5 dans la variété Saada, alors que les gènes H21 et H25 ne confèrent qu'une résistance moyenne. Ces gènes viennent enrichir le stock disponible en gènes de résistance. Les auteurs proposent que les gènes H5, H11, H14H15, H21 et H25 localisés sur les génomes A ou B soient transférés seulement au blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum), et que les gènes du génome D, H13, H22, H23 et H26, soient utilisés pour l'incorporation de la résistance dans le blé tendre (*Triticum aestivum* L.).*

Mots clés : *Mayetiola destructor*, gènes de résistance, *Triticum aestivum*

Abstract: New genes for resistance to Hessian fly (Diptera : Cecidomyiidae) in Morocco

Hessian fly, Mayetiola destructor (Say), is the most destructive pest of wheat in Morocco. It is characterized by frequent changes of virulence in the population. Therefore, the gene pool for resistance to this pest should be increased and diversified.

Field and greenhouse screening tests were carried out in order to identify new sources of resistance to Hessian fly in Morocco. The Results showed that the genes H14H15, H21, H25,

and H26 are effective against this insect. H14H15 and H26 provide a high level of resistance similar to that of H5 gene in the cultivar Saada, while H21 and H25 provide moderate levels of resistance. These genes constitute new additions to the stock of sources of resistance available in Morocco. The authors propose that genes located on the A or B genomes be transferred into durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum), and those located on the D genome be used in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) improvement.

Key words: *Mayetiola destructor*, resistance genes, *Triticum aestivum*

ملخص : مورثات جديدة لمقاومة ذبابة هس (Diptera : Cecidomyiidae) بالمغرب

م. بوحسيني¹، س. لعلوي¹، ج. ه. هاتشيت² و ن. نبير³

1 : المعهد الوطني للبحث الزراعي، سطات، المغرب

2 : جامعة ولاية كنساس، مانهاتن، 66506، الولايات المتحدة الأمريكية

3 : كلية العلوم بالجديدة، قسم بيولوجيا

كان الهدف من هذا البحث إيجاد جينات جديدة لمقاومة ذبابة هس. فقد أسفرت التجارب التي قمنا بها سواء في الحقل أو في البيوت المغطاة عن إيجاد 4 جينات ذات مقاومة متفاوتة لذبابة هس. فالجينات H14 H15 و H26 لها مقاومة جد عالية بينما الجينات H21 و H25 مقاومتها متوسطة. كل هذه الجينات تضاف إلى قائمة الجينات الموجودة حالياً. و نقترح تخصيص الجينات المتواجدة على مجموعة الكرموزات B و A لتحسين القمح الصلب، و الجينات المتواجدة على مجموعة الكرموزات D لتحسين القمح الطري.

الكلمات المفتاحية: *Triticum Aestivum*، *Mayetiola Destructor*، جينات المقاومة

Introduction

La mouche de Hesse est le ravageur le plus redoutable du blé au Maroc. Elle est présente dans toutes les régions céréalières du pays, et se manifeste plus sévèrement dans les plaines de Chaouia, Doukkala, et Abda (Lhaloui *et al.* 1992a). Les dégâts causés par cet insecte peuvent aller jusqu'à la destruction totale de la culture du blé, surtout si l'infestation coïncide avec le stade jeune de la plante. Les pertes en rendement sur blé tendre ont été estimées à 42 % (Lhaloui *et al.* 1992b) et à 36 % (Amri *et al.* 1992), alors que sur blé dur, elles ont été de l'ordre de 32 % (Lhaloui *et al.* 1992b).

Plusieurs méthodes de lutte peuvent être utilisées pour minimiser les dégâts de cet insecte. Parmi ces méthodes, on retient les techniques culturales suivantes : incinération des chaumes, semis précoce, fertilisation adéquate pour donner une bonne vigueur à la plante et favoriser le tallage, et rotation appropriée qui évite céréale après céréale. Cependant, la méthode la plus pratique et la plus économique reste la résistance génétique. Celle-ci présente plusieurs

avantages : Pas de pollution pour l'environnement, pas de toxicité pour les animaux et les humains, et faible coût additionnel pour l'agriculteur car tout est incorporé dans la semence de la variété résistante.

Les recherches sur la création de variétés résistantes à la mouche de Hesse ont été entamées à l'Institut national de la recherche agronomique en 1984. Des essais au champ et sous serre ont permis d'identifier six gènes de résistance, *H5*, *H7H8*, *H11*, *H13*, *H22* et *H23* (El Bouhssini *et al.* 1988 ; El Bouhssini *et al.* 1992). A l'exception des gènes *H7H8* qui ne confèrent qu'une résistance modérée, les autres gènes confèrent un niveau élevé de résistance. Le mécanisme de résistance de ces gènes est l'antibiosis, signifiant que les larves de premier stade meurent quand elles commencent à se nourrir sur la plante résistante.

Tous les gènes de résistance identifiés sont en cours d'incorporation par les améliorateurs dans des variétés marocaines adaptées de blé. Deux variétés sont déjà inscrites au Catalogue officiel : 'Saada' (*H5*) et 'Massira' (tolérante) respectivement en 1989 et 1994 (INRA 1995). La variété Saada a été inscrite au Catalogue en tant que variété provisoire ; la couleur rougeâtre de ses graines n'est pas appréciée par les agriculteurs (Riddle 1989 ; Jlibene 1992). Elle a été recommandée surtout pour les régions d'Abda, là où les dégâts de la mouche de Hesse sont sévères. Une lignée issue de ces croisements ayant le gène *H22* et la lignée *L222* (gène non encore identifié) sont aux essais catalogue depuis la saison 1994/95 (Jlibene comm. person.).

L'interaction génétique entre le blé et la mouche de Hesse est très spécifique et consistante avec la relation gène-pour-gène (Hatchett et Gallun 1970). La résistance chez le blé et l'avirulence chez la mouche de Hesse sont gouvernées par des gènes à dominance complète ou incomplète (El Bouhssini 1992). Cette spécificité entre l'insecte et le blé cause en conséquence le développement de biotypes virulents. Aux USA, huit biotypes ont été identifiés au champ ; ils sont désignés : GP, A, B, C, D, E, J et L (Gallun 1977 ; Sosa 1981).

Trois stratégies principales peuvent être envisagées pour le déploiement des gènes de résistance à la cécidomyie :

- la pyramidation des gènes qui consiste en l'incorporation de plusieurs gènes à la fois dans une même variété ; la résistance serait donc plus durable ;
- l'incorporation d'un seul gène à la fois, et lâcher d'un nouveau gène seulement quand le premier ne confère plus la résistance ;
- l'incorporation de différents gènes dans différentes variétés et lâcher simultanément de toutes les variétés.

Au Maroc, pour être en mesure d'avoir un stock important en gènes de résistance, et de choisir une stratégie de déploiement précise, la recherche et la diversification des sources de résistance doivent se faire continuellement.

L'objectif du présent travail est de chercher de nouveaux gènes de résistance efficaces contre la mouche de Hesse au Maroc.

Matériel et méthodes

Quatre lignées de blé tendre, provenant des USA et portant des gènes de résistance à la mouche de Hesse américaine, ont été testées pour leur réaction à la cécidomyie marocaine. Ces lignées sont : 1- BT 82104B1-3-2 (*H14H15*), 2- HAMLET (*H21*), 3- KS92WGR19 (*H25*), et KS92WGRC26 (*H26*). Le triage a été réalisé sous serre et au champ.

Serre

La méthode de triage utilisée sous serre est similaire à celle décrite par Cartwright et Lahue (1944). Les lignées ont été semées dans des bacs de 56 x 38 x 9 cm, à raison de 20 demi-lignes uniformément espacées ; chaque lignée étant semée dans une demi-ligne à raison de 25 graines par lignée. Les quatre demi-lignes du centre sont semées par des témoins sensible (*Nasma*) et résistant (*Saâda*) (*H5*). Le dispositif expérimental utilisé est un bloc aléatoire complet à quatre répétitions. Les bacs sont maintenus dans une serre réglée à une température de $20 \pm 3^\circ\text{C}$. Au stade une feuille, les plantes ont été infestées en introduisant 25 femelles fécondées de cécidomyie par bac. Ce dernier a été couvert par une tente en tissu mousseline pour empêcher les femelles de s'échapper. L'évaluation a été faite 20 jours après l'infestation. Une analyse de la variance a été performée en utilisant SAS (SAS Institute 1985), et les moyennes ont été séparées par le test de la plus petite différence significative (PPDS ; $P < 0.05$). Les pourcentages de plantes résistantes ont été transformés en leurs arcsinus avant leur traitement statistique.

champ

Le test a été conduit dans des stations expérimentales de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA). Les lignées ont été semées dans des sillons d'un mètre de long, espacés de 30 cm. Les deux témoins sensible (*Nasma*) et résistant (*Saâda*) ont été semés après chaque dix lignées. Le semis a été effectué durant le mois de novembre. Après l'apparition des symptômes d'attaque, les plantes de chaque lignée ont été prélevées pour estimer le niveau de résistance et la densité larvaire. L'évaluation des lignées ayant les gènes *H14H15* a été effectuée en 1991 dans cinq stations expérimentales : Sidi El Aidi, Jemaa Shaim, Tessaout, Douyet et Annoceur. Les lignées ayant les gènes *H21*, *H25* et *H26* ont été évaluées en 1994 dans la station de Jemaa Shaim.

L'évaluation de la résistance a été effectuée lorsque les larves de la mouche de Hesse étaient au stade puparium. Les plantes sensibles sont rabougries et ont une apparence verte foncée, alors que les plantes résistantes gardent une couleur verte claire et une croissance normale. Les plantes à apparence résistante ont été examinées pour la présence de larves mortes. La présence au niveau du collet de la plante de larves mortes confirme la résistance et montre aussi que ces plantes ont l'antibiosis comme mécanisme de résistance.

Résultats et discussion

Les résultats des tests conduits sous serre et en plein champ support l'un l'autre.

Le tableau 1 résume la réaction des plantes ayant les gènes *H14H15* pour la résistance à la cécidomyie sous serre. Le niveau d'infestation était élevé et homogène, comme l'indique 100 % des plantes de la variété Nasma, infestées avec en moyenne dix larves de cécidomyie par plante. Ceci est significativement ($P < 0.01$) supérieur au nombre de larves vivantes par plante sensible ayant les gènes *H14H15*, qui a été de trois. Malgré la différence significative du niveau de résistance entre les gènes *H5* et *H14H15*, l'efficacité de ces derniers est élevée (94 % de résistance). Leur niveau d'antibiosis était aussi similaire, 3.4 larves mortes par plante portant *H14H15* contre 3.7 larves par plante portant *H5*. La présence de larves mortes confirme donc la résistance des gènes *H14H15* à la mouche de Hesse marocaine.

Tableau 1. Réaction des plantes ayant les gènes *H14H15* pour la résistance à la mouche de Hesse, serre 1991

Sources et gènes de résistance	No. total des plantes testées	% plantes résistantes	No. larves mortes par plante résistante	No. larves vivantes par plante sensible
<i>H14H15</i>	65	94.0 a ¹	3.4 a	3.0 a
Saada (<i>H5</i>) (témoin résistant)	66	100 b	3.7 a	--
Nasma (témoin sensible)	41	0.0 c	--	10.5 b

¹Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes (PPDS ; $P=0.05$)

Les résultats des tests au champ (Tableau 2) confirment ceux obtenus sous serre, à savoir que les gènes *H14H15* ont conféré la résistance à la mouche de Hesse au Maroc. Dans presque toutes les stations expérimentales, l'infestation était élevée et homogène, comme indiqué par le nombre élevé de larves vivantes sur les plantes du témoin sensible. Aussi, le niveau de résistance conféré par les gènes *H14H15* était élevé et similaire à celui conféré par le gène *H5*.

Tableau 2. Réaction des plantes ayant les gènes *H14H15* pour la résistance à la mouche de Hesse, champ 1991

Source de résistance	Pourcentage des plantes résistantes				
	Sidi El Aidi	Jemaâ Shaim	Tessaout	Douyet	Annoeur
<i>H14H15</i>	92.3	100	100	80.0	92.0
Saada (témoin résist.)	100	100	100	100	95.0
Nasma (témoin sensible)	0.0	0.0	13.0	0.0	17.0

Les gènes *H14H15*, localisés sur le chromosome 5A, proviennent du blé dur Ethiopien ELS 6404-160, CI17647 (Mass *et al.* 1989). Du moment que l'origine de ces gènes est un blé dur,

les améliorateurs ont jugé utile d'utiliser le parent lui même dans le programme d'amélioration génétique du blé dur au Maroc. Le transfert sera plus facile et évitera les problèmes de stérilité comme dans le cas des croisements interspécifiques. Cependant, ce blé dur Ethiopien n'a pas exprimé de résistance à la mouche de Hesse au Maroc. Cette contradiction dans le comportement des gènes *H14H15* au niveau du blé tendre (héxaploïde $2n = 42$) et du blé dur (tétraploïde $2n = 28$) vis-à-vis de la résistance à la mouche de Hesse nous laisse émettre plusieurs hypothèses parmi lesquelles la présence d'un ou plusieurs autres gènes responsables de cette résistance dans la lignée de blé tendre (82104B1-3-2) testée au Maroc, ou que les gènes *H14H15* ne confèrent la résistance à la mouche marocaine qu'en présence du génome D. Une étude génétique est en cours pour clarifier cette ambiguïté.

Les tableaux 3 et 4 résument la réaction des plantes ayant les gènes *H21*, *H25* et *H26* pour la résistance à la mouche de Hesse au champ et sous serre. Le niveau d'infestation sous serre était élevé et homogène ; 100 % des plantes du témoin sensible *Nasma* étaient infestées. Ces plantes avaient un nombre de larves significativement ($P < 0.01$) plus important que celui trouvé sur les plantes sensibles ayant les gènes *H21* et *H25*. Ces gènes ont montré un niveau de résistance moyen comparé à celui du gène *H26*. Toutes les plantes ayant le gène *H26* étaient résistantes aussi bien au champ que sous serre. Le niveau de résistance conféré par le gène *H26* est similaire à celui du gène *H5* présent dans le génotype *Saada*.

La présence de larves mortes sur le collet des plantes résistantes confirme l'effet antibiosis caractérisant la résistance conférée par ces trois gènes. Aussi, leurs niveaux d'antibiosis sont similaires à celui du gène *H5*.

Tableau 3. Réaction des plantes ayant les gènes *H21*, *H25* et *H26* pour la résistance à la mouche de Hesse, serre 1994

Source de résistance	No. total de plantes testées	% plantes résistantes	No. larves mortes par plante résistante	No. larves vivantes par plante sensible
<i>H21</i>	91	61.3 c ¹	8.9 a	3.2 b
<i>H25</i>	71	77.5 b	10.8 a	-5.8 b
<i>H26</i>	82	100 a	9.0 a	--
<i>Saada (H5)</i> (témoin résistant)	84	100 a	11.3 a	--
<i>Nasma</i> (témoin sensible)	82	0.0 d	--	21.8 a

¹Les moyennes de la même colonne suivies par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes (PPDS ; $P = 0.05$)

Tableau 4. Réaction des plantes ayant les gènes *H21*, *H25* et *H26* pour la résistance à la mouche de Hesse, champ 1994

Source de résistance	No. total de plantes testées	% plantes résistantes
<i>H21</i>	21	70
<i>H25</i>	27	74
<i>H26</i>	30	100
<i>Saada (H5)</i> (témoin résistant)	35	100
<i>Nasma</i> (témoin sensible)	25	0

Les deux gènes *H21* et *H25* proviennent de deux translocations entre les chromosomes du seigle (*Secale cereale* L.) et ceux du blé, respectivement 2BS.2RL et 4AS.4AL-6RL-4AL (Friebe *et al.* 1990 ; 1991). Le gène *H26*, qui se trouve sur le chromosome 4D, est originaire de l'espèce sauvage apparentée au blé *Aegilops squarrosa* (Cox et Hatchett 1994). Ainsi, les gènes *H14H15*, *H21*, *H25* et *H26* viennent s'ajouter à la liste des gènes de résistance à la mouche de Hesse, disponible pour le programme d'amélioration génétique du blé au Maroc.

Bien que les spécialistes de la résistance génétique aux insectes ont des points de vue différents sur la stratégie de déploiement des gènes de résistance (Cox et Hatchett 1986 ; Gould 1986), les améliorateurs et entomologistes ont adopté une stratégie conservatrice à cet égard, à savoir réserver l'utilisation de chaque gène pour une seule espèce, soit le blé dur ou le blé tendre, et incorporer un seul gène à la fois par variété.

Pratiquement, on recommande l'utilisation des gènes localisés sur les génomes A et B dans le blé dur. Ceci permettrait de garder un stock assez élevé de gènes pour cette espèce, qui ne possède que les génomes A et B. Le blé tendre possède le génome D, en plus des génomes A et B, et donc on recommande l'utilisation des gènes localisés sur le génome D dans le blé tendre.

On recommande aussi l'utilisation de préférence, des gènes qui ne sont pas très sélectifs de biotypes virulents, comme les gènes *H7H8*. Ces gènes permettent la survie des larves avirulentes sur les plantes résistantes, et la virulence serait toujours diluée par l'avirulence (El Bouhssini et Hatchett 1995). Ceci permettrait de ralentir le développement des biotypes virulents. Le même principe justifie l'utilisation des lignées ayant la tolérance comme mécanisme de résistance, cas de la variété 'Massira' (Bentika A. 1994). L'utilisation de telles variétés laisserait toujours un nombre important de larves avirulentes dans la nature et la durée de vie de la résistance serait prolongée.

En plus de ces stratégies de déploiement des gènes de résistance pour faire face aux changements génétiques de l'insecte, la recherche de nouvelles sources de résistance doit être un effort continu. Ceci permettrait d'avoir un stock de sécurité en germoplasme résistant à la mouche de Hesse qui peut être utilisé en cas de besoin.

Remerciements

Les auteurs remercient Drs. Karrou M., Meskine M., Mergoum M. et Tanji A. qui ont bien voulu lire et corriger le manuscrit.

Références bibliographiques

Amri A., El Bouhssini M., Lhaloui S., Cox T.S. and Hatchett J.H. (1992). Estimates of yield loss due to Hessian fly (Diptera : Cecidomyiidae) on bread wheat using near-isogenic lines. *Al Awamia*, 77 : 75-87.

- Bentika A. (1994). Evaluation de la résistance à la cécidomyie chez une collection de blé dur et d'espèces sauvages d'*Aegilops* et de *Triticum*. Mémoire de fin d'étude, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, 65 p.
- Cartwright W.B. and Lahue D.W. (1944). Testing wheat in the greenhouse for Hessian fly resistance. *J. Econ. Entomol.* **37** : 385-386.
- Cox T.S. and Hatchett J.H. (1986). Genetic model for wheat Hessian fly (*Diptera: Cecidomyiidae*) interaction : Strategies for deployment of resistance genes in wheat cultivars. *Environ. Entomol.*, **15** : 24-31.
- Cox T.S. and J.H. Hatchett. (1994). Hessian fly-resistance gene *H26* transferred from *Triticum tauschii* to common wheat. *Crop Sci.*, **34** : 958-960.
- El Bouhssini M., Amri A. and Hatchett J.H. (1988). Wheat genes conditioning resistance to the Hessian fly (*Diptera : Cecidomyiidae*) in Morocco. *J. Econ. Entomol.*, **81** : 709-712.
- El Bouhssini M., Amri A., Hatchett J.H. and Lhaloui S. (1992). New sources of resistance in wheat to Hessian fly, *Mayetiola destructor* (Say), (*Diptera : Cecidomyiidae*) in Morocco. *Al Awamia*, **77** : 89-107.
- El Bouhssini M. (1992). Genetic interactions among resistance genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) and virulence genes in the Hessian fly (*Mayetiola destructor* (Say)) in North America and Morocco. Ph.D dissertation, Kansas State University, Manhattan, Kansas, 119 p.
- El Bouhssini M. and Hatchett J.H. (1995). Hessian fly (*Diptera: Cecidomyiidae*) larval survival on wheat plants carrying resistance genes. *J. Econ. Entomol.* (soumis).
- Friebe B., Hatchett J.H., Sears R.G. and Gill B.S. (1990). Transfer of Hessian fly resistance from 'Chau-pon' rye to hexaploid wheat via a 2BS/2RL wheat-rye chromosome translocation. *Theor. Appl. Genet.*, **79** : 385-389.
- Friebe B., Hatchett J.H., Gill B.S., Mukai Y. and Sebesta E.E. (1991). Transfer of Hessian fly resistance from rye to wheat via radiation-induced terminal and intercalary chromosomal translocations. *Theor. Appl. Genet.*, **83** : 33-40.
- Gallun R. (1977). Genetic basis of Hessian fly epidemics. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **287** : 223-229.
- Gould F. (1986). Simulation models for predicting durability of insect-resistant germplasm: Hessian fly (*Diptera : Cecidomyiidae*) resistant winter wheat. *Environ. Entomol.*, **15**: 11-23.
- Hatchett J.H. and Gallun R.L. (1970). Genetics of the ability of the Hessian fly, *Mayetiola destructor* (Say), to survive on wheats having different genes for resistance. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, **63** : 1400-1407.
- INRA. (1995). Variétés des céréales inscrites au Catalogue officiel. Programme des céréales d'automne (sous presse).
- Jlibene M. (1992). Agronomic evaluation of the Hessian fly resistant wheat cultivar 'Saada' in Morocco. *Al Awamia*, **77** : 147-159.
- Lhaloui S., Buschman L., El Bouhssini M., Amri A., Hatchett J.H., Keith D., Starks K. and El Hous-saini K. (1992a). Infestations of *Mayetiola spp.* (*Diptera : Cecidomyiidae*) in bread wheat, durum wheat and barley : Results of the five annual surveys in the major cereal growing regions of Morocco. *Al Awamia*, **77** : 21-53.
- Lhaloui S., Buschman L., El Bouhssini M., Starks K., Keith D. and El Hous-saini K. (1992b). Control of *Mayetiola* species (*Diptera: Cecidomyiidae*) with carbofuran in bread wheat, durum wheat and barley with yield loss assessment and its economic analysis. *Al Awamia*, **77** : 55-73.

Mass F.B., Patterson F.L., Foster J.E. and Ohm H.W. (1989). Expression and inheritance of resistance of ELS 6404-160 durum wheat to Hessian fly. *Crop Sci.*, **29** : 23-28.

Riddle R. (1989). Farmer evaluations of a new bread wheat variety: A survey of Saada promotion participants. MIAC/INRA sociology bulletin 5, Aridoculture Center, Settat, Morocco.

SAS Institute INC. (1985). Statistics guide for personal computers. SAS Institute, Cary, N.C. 378 p.

Sosa E.J. (1981). Biotype J and L of the Hessian fly discovered in an Indiana wheat field. *J. Econ. Entomol.* **74** : 180-182.