

## Sélection de nouvelles lignées de blé tendre hautement productives et résistantes à la cécidomyie, *Mayetiola destructor* (Say), au Maroc

## Selection of new high yield potential bread wheat lines resistant to Hessian fly, *Mayetiola destructor* (Say), in Morocco

OTMANE R.<sup>1,2</sup>, LHALOUI S.<sup>2,3</sup>, OSMAN A.<sup>3</sup>, AMAMOU A.<sup>2</sup>, EL BOUHSSINI M.<sup>3</sup>, NSARELLAH N.<sup>2</sup>, GABOUN F.<sup>2</sup>, OURINICHE S.<sup>1, 2</sup> & BENCHARKI B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université Hassan premier, Faculté des Sciences et Techniques, Settat, Maroc.

<sup>2</sup>Institut National de la Recherche Agronomique, Maroc.

<sup>3</sup>International Center of Agricultural Research in the Dry Areas, Rabat, Morocco.

### RESUME

Le blé (*Triticum sp.*) constitue l'alimentation de base de la population Marocaine. Toutefois, cette culture est attaquée par plusieurs maladies et ravageurs, dont la mouche de Hesse. Cet insecte est le ravageur le plus redoutable du blé, causant des pertes annuelles en rendement de plus de 30%. Dans le but de sélectionner un germoplasme qui combine la résistance à la cécidomyie, *Mayetiola destructor* (Say), et un haut potentiel de rendement, une pépinière de blé tendre HF\_SBWYT\_MOR\_ON de 160 lignées provenant de l'ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) a été évaluée pour la résistance à la cécidomyie de blé et pour le potentiel de rendement sous serre, et dans quatre environnements (sites) du Maroc: Chaouia, Abda, Doukkala et Tadla, représentés par les domaines expérimentaux de Sidi El Aidi, Jemaa Shaim, Khemis Zemamra et Deroua.

L'analyse de la variance a montré des effets hautement significatifs ( $P < 0,0001$ ) des paramètres site, génotype et l'interaction site x génotype, pour les tests de résistance à la cécidomyie ou de rendement grain. L'évaluation sous serre a révélé que 87,5% des lignées de la pépinière sont résistantes, 9,4 % hétérogènes et 3,1 sensibles. Les lignées sont dérivées de parents résistants et expriment l'antibiosis comme mécanisme de résistance.

Les meilleurs rendements en grain ont été obtenus dans la station expérimentale de Deroua conduite sous régime irrigué : 23,7 à 86 qx/ha dépassant largement la moyenne nationale (18 qx/ha). Les plus faibles rendements ont été obtenus à Khemis Zemamra: 7,7 à 41,3 qx/ha.

**Mots clés** : blé tendre, *Mayetiola destructor*, résistance génétique, antibiosis, rendement grain.

### ABSTRACT

Wheat (*Triticum sp.*) is the main staple food of the Moroccan population. However, the crop is attacked by several pests and diseases. Hessian fly is the most serious pest, causing an average yield loss of 30% yearly. In order to select germplasm that combines both

Hessian fly resistance and a high yield potential, an ICARDA bread wheat nursery, HF\_SPWYT\_MOR\_ON of 160 lines, was evaluated for resistance to Hessian fly and for yield potential under greenhouse and in four Moroccan environments: Chaouia, Abda, Doukkala and Tadla, represented by the experimental domains of Sidi El Aidi, Jemaa Shaim, Khemis Zemamra and Deroua. Analysis of variance showed highly significant effects ( $P < 0.0001$ ) of site, genotype and their interactions (site x genotype). The evaluation under greenhouse conditions showed that 87.5% of the nursery was resistant, 9.4% heterogeneous and 3.1% was susceptible. Most of the lines were resistant in the field. These lines are derived from resistant parents, and express antibiosis as a mechanism of resistance. The best grain yields were obtained in the experimental domain of Deroua, 23.7 to 86 q/ha, which is much higher than the national average (18 q/ha). The lowest were obtained in Khemis Zemamra, 7.7 to 41.3 q/ha.

**Key words:** wheat, *Mayetiola destructor*, genetic resistance, antibiosis, grain yield.

## INTRODUCTION

Les céréales sont les principales cultures vivrières au Maroc. Annuellement, elles couvrent une superficie de 5 Millions d'hectares (Nasarellah & al. 2011), et se situent principalement dans les zones arides et semi arides du pays (200 - 400mm). Ces zones occupent 60% de la surface agricole utile (El Mourid & al. 1996, Ait El Mekki, 2006). Les facteurs de stress abiotiques (conditions climatiques et édaphiques) et biotiques (maladies et insectes ravageurs) ainsi que l'effet de l'interaction génotype x environnement (GXE) sont les principaux facteurs qui déterminent la productivité des blés cultivés dans ces zones.

La cécidomyie ou mouche de Hesse, *Mayetiola destructor* (Say), [Diptera: Cecidomyiidae] est l'insecte ravageur du blé le plus redoutable au Maroc (Lhaloui & al. 1992). Originaire de l'Asie de l'Ouest, elle s'est propagée en Europe, en Afrique du Nord et en Amérique du Nord (Miller & al. 1989, Ratcliffe et Hatchett 1997, Naber & al., 2000, Lhaloui & al. 2005). Les pertes causées par la cécidomyie sur les blés dur et tendre sont de l'ordre de 30% annuellement (El Bouhssini & al. 1996). Cependant, ses dégâts peuvent aller jusqu'à la destruction totale de la culture, si l'infestation coïncide avec le stade

jeune de la plante (cas des semis tardifs) (Lhaloui & al. 1992a, Lhaloui & al. 2005, Amri & al. 1992a). La cécidomyie est très abondante dans toutes les principales régions céréalières du Maroc notamment Chaouia, Abda, Doukkala, Tadla, Haouz, Sais et Gharb. Des prospections conduites dans ces régions entre 1986 et 1990 ont révélé que le niveau d'infestation était en moyenne de 88% pour le blé tendre et de 85% pour le blé dur (Lhaloui & al. 1992b). Les pertes sont estimées à une valeur de 200 Millions de DH/an (Azzam & al. 1997).

L'utilisation de variétés résistantes est la méthode la plus pratique; elle est économique, respectueuse de l'environnement, et compatible avec les autres techniques culturales. Jusqu'à présent, il existe 34 gènes de résistance contre ce ravageur; nommés de *H1* à *H34* (Li & al., 2013, Subramanyam & al. 2015), qui sont exploités pour l'amélioration du blé. Au Maroc, les gènes de résistance *H5*, *H7H8*, *H11*, *H13*, *H14H15*, *H21*, *H22*, *H23*, *H25* et *H26* ont été trouvés efficaces contre la mouche de Hesse (El Bouhssini & al. 1997, 1996, 1988 ; Gallagher & al. 1987, Amri & al. 1990, 1992b). Les gènes *H5*, *H11*, *H13*, *H22* ont été intégrés dans des variétés de blé tendre marocaines (El Bouhssini & al. 1996).

De nouvelles populations virulentes apparaissent continuellement à cause de la pression de sélection. Pour cette raison, des efforts supplémentaires doivent être fournis pour identifier de nouvelles sources de résistance (nouveaux gènes) et les incorporer dans le programme national de création variétale pour mettre au point de nouvelles variétés portant des gènes de résistance à la cécidomyie, sans compromettre le potentiel de rendement et la qualité du grain.

L'objectif de cette étude est l'évaluation d'une pépinière de 160 lignées F8 de blé tendre provenant de croisements entre différentes sources de résistance à la cécidomyie et variétés adaptées, pour la résistance à la cécidomyie et le rendement grain.

## MATERIEL ET METHODES

### *Matériel végétal*

Au total 160 lignées à la génération F8 de la pépinière HF\_ASBWYT\_MOR\_ON (Hessian fly, Advanced Spring Bread Wheat Yield Trial, Morocco, Observation Nurseries), générées par le programme d'amélioration génétique du blé tendre de l'ICARDA, ont été évaluées pour la résistance à la cécidomyie sous serre et au champ, et pour le rendement grain uniquement au champ.

Les essais au champ ont été installés dans des domaines expérimentaux de l'INRA, de différents environnements, à savoir : Sidi El Aidi (SEA), Jemaa Shaim (JSH), Khemis Zemamra (KHZ), et Deroua (Der) (Tableau 1).

**Tableau 1:** Caractérisation agro-écologique des domaines expérimentaux où les lignées ont été testées.

Domaine	Zone agro-écologique	Caractéristiques du site
Sidi El Aidi (SEA)	Zone aride, saison courte	Région centrale, chaude, sécheresse, rouille des feuilles, pourriture racinaire, helminthosporiose, infestation moyenne par la mouche de Hesse.
Jemaa Shaim (JSH)	Zone aride, saison très courte	Zones arides du Sud-Ouest, sécheresse extrême, chaude, rouille des feuilles, infestation extrême par la mouche de Hesse.
Khemis Zemamra (KHZ)	Zone aride, irrigué	Zone aride du Sud-Ouest, sèche, chaude, rouille, infestation moyenne par la mouche de Hesse.
Deroua (Der)	Zone aride entièrement irriguée, courte saison	Sud central, continentale, saison chaude, rouille des feuilles, L'helminthosporiose, faible infestation par la mouche de Hesse.

(Nasarellah et *al.*, 2011).

Les variétés de blé tendre Aguilal et Arrihane résistantes à la cécidomyie ont été utilisées comme témoins résistants et Cham-8 et Raja comme témoins sensibles à la cécidomyie. Ces variétés

témoins ont été répétées huit fois. Les lignées ont été groupées en fonction de leurs pédigrées et leurs fréquences (Tableaux 2 et 3).

**Tableau 2:** Lignées étudiées regroupées en fonction de leurs pédigrées, nombre et pourcentages.

Pédigrée	Code	Nombre	Pourcentage
NESMA*2/14-2//2*SAFI-3	G1	11	5.73
NESMA*2/14-2//NS732/HER/3COLOTANA	G2	3	1.56
NS732/HER//SAFI-1-3/SAADA	G3	4	2.08
NS732/HER//ARRIHANE/3/REGRAG-1	G4	4	2.08
OUASSOU-4	G5	9	4.69
MORSUD-31	G6	10	5.21
MIKEET-3	G7	8	4.17
MASSIRA/JADIDA-2	G8	3	1.56
SETTAT-45	G9	4	2.08
HAALA-21	G10	3	1.56
PRINIA-1//NESMA*2/14-2-3DUCULA	G11	7	3.65
KHEMISSET-1	G12	2	1.04
KENITRA-1	G13	3	1.56
DUKKALA-35	G14	19	9.90
ACHTAR/INRA 1764	G15	23	11.98
ESWYT99#18/ARRIHANE	G16	35	18.23
génotypes de fréquence =1	G17	12	6.25
Raja	Raja	8	4.17
Aguilal	Aguilal	8	4.17
Arrihane	Arrihane	8	4.17
Cham_8	Cham_8	8	4.17

**Tableau 3:** lignées à fréquence unique

Génotypes G17	
NESMA*2/14-2//2*SAFI-1/3/SEFRAIA-1	G17 .1
SAFI-1//NS732/HER/3/SAADA	G17.2
OYOUN-2	G17.3
VEE#//MT773/EMU's'/3/SAFI-1	G17.4
ACHTAR*3//KANZ/KS85-8-4/3/DEBIERA/4/ANGI-2	G17.5
ACHTAR*3//KANZ/KS85-8-4/3/LAKTA-8/4/ZEMAMRA-1	G17.6
BOW#1/FEENGKANG15//NESMA*2/261-9/3/DUCULA	G17.7
SERI 82/SHUHA'S'//NESMA*2/261-9/3BAU'S'//NS732/HER	G17.8
SHUHA-2//NS732/HER	G17.9
SAFI-1//CARP/KAUZ'S'	G17.10
NESMA*2/14-//HD2206/HORK'S'	G17.11
NESMA*2/14-/261-9//FIRTAIL	G17.12

### **Tests sous serre**

Pour le test de résistance à la cécidomyie, les essais ont été effectués sous serre, au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settât (CRRRA-Settât). Les lignées ont été semées dans des plateaux standards en bois ou en plastique (dimensions 54 x 36 x 8cm), en demi ligne à raison de 25 graines par lignée. Chaque plateau contient 20 lignées du matériel à tester, un témoin résistant et un autre sensible, pour vérifier l'homogénéité de l'infestation. Le substrat utilisé est un mélange de 2/3 de sol et 1/3 de tourbe. Les plantes ont été maintenues sous des conditions contrôlées de température et d'humidité (20±2 °C et 70% HR).

L'infestation a été faite artificiellement à partir d'une culture de cécidomyie maintenue en permanence au laboratoire d'entomologie du CRRRA- Settât. Au stade deux à trois feuilles, les plateaux sont couverts par des cages en tissus mousseline et une centaine de mouches nouvellement émergées et fécondées sont collectées des plateaux d'élevage et lâchées sur les plateaux à tester. Les cages sont maintenues couvertes 2 à 5 jours pour que les femelles puissent pondre, et les larves de premier stade puissent descendre vers la base de la plante où elles commencent à sucer la sève.

Trois semaines après l'infestation, les plantes sont retirées du sol et examinées visuellement pour déterminer leur réaction à l'infestation. Les plantes rabougries, de couleur vert foncé, à feuilles larges, et hébergeant des larves de deuxième stade ou des pupes vivantes sont considérées comme sensibles. Les plantes de couleur vert clair et à croissance normale sont considérées comme résistantes. Toutes les plantes ont été par la suite examinées sous la loupe

(plante par plante) pour confirmer les observations à l'œil nu. La présence des larves du premier stade (L1) mortes à la base des tiges, indique que la plante est résistante par effet antibiosis.

Le pourcentage des plantes résistantes (PR) de chaque lignée est calculé selon la formule suivante :

**% de résistance (PR) = (Nombre de plantes résistantes / Nombre total de plantes) x100**

En fonction du PR les lignées ont été groupées en trois catégories distinctes : Résistante (R), Hétérogène (H) et Sensible (S).

- Si  $90\% \leq PR \leq 100\%$ : la lignée est classée comme résistante :

R

- Si  $50\% \leq PR < 90\%$ : la lignée est hétérogène : H

- Si le  $PR < 50\%$ : la lignée est considérée comme sensible : S

### **Tests au champ**

Au champ, l'essai a été installé tardivement pour faire coïncider les plantules de la pépinière avec la deuxième génération de la cécidomyie qui est la plus intense, pour avoir une infestation maximale et diminuer le pourcentage de plantes échappées. Les lignées sont semées en deux lignes de 1m de long chacune, avec un espacement de 30 cm et 50 cm entre les lignées. L'infestation au champ s'est faite naturellement. L'évaluation pour la résistance au champ a été faite uniquement à l'œil nu.

Pour l'évaluation du potentiel du rendement, les lignées ont été semées sur des parcelles individuelles de 9 m<sup>2</sup> en trois répétitions (en blocs complémentaires aléatoires); 6 lignes de 5 mètres de long et 2m de large.

L'espacement entre les lignes était de 30 cm. Pour l'évaluation du rendement, seulement 6 m<sup>2</sup> des 4 lignes internes ont été récoltés.

**Analyse statistique**

Les résultats ont été traités statistiquement par le logiciel SAS, par l'analyse de la variance, et par le test PPDS (la Plus Petite Différence Significative) à un seuil de signification de  $\alpha=0,05$  et la procédure GLM pour les interactions Site, Génotype et Site x Génotype.

Le test Khi-2 d'indépendance (procédure FREQ) a été utilisé pour la répartition des fréquences des lignées pour les tests de résistance dans les domaines expérimentaux et sous serre.

**RESULTATS**

**Résistance à la cécidomyie**

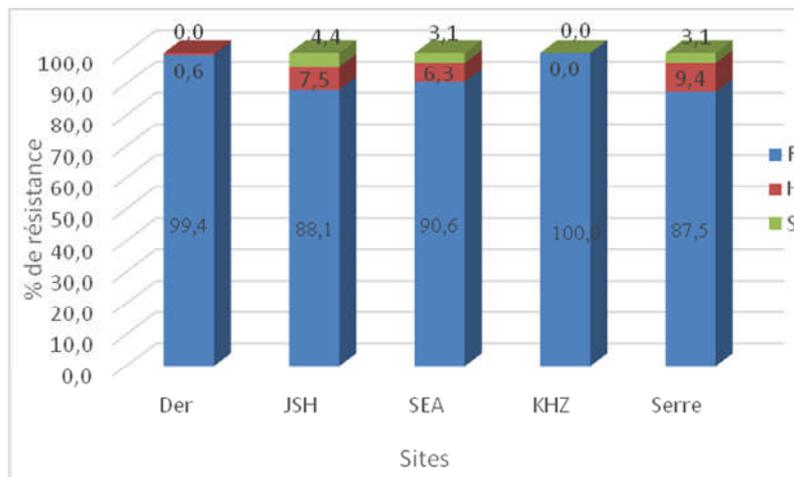
*Test Sous serre*

L'analyse de la variance des résultats des tests de résistance à la cécidomyie a

montré un effet génotype hautement significatif  $P<0,001$ . Parmi les 160 lignées évaluées sous serre, 140 (87,5%) étaient résistantes (R), dont 129 lignées (80,6%) de cette catégorie étaient 100% résistantes, représentant ainsi le plus grand effectif. En revanche, 15 lignées (9,4%) étaient hétérogènes (H) et 5 lignées (3,1%) étaient sensibles (S) (Figure 1).

**Test Au champ**

Les résultats de l'évaluation ont montré qu'environ 99,8% et 100% des lignées étaient résistantes (R) dans les domaines de Der et KHZ contre 88,1% et 90,6% à JSH et SEA respectivement. Le pourcentage des lignées sensibles (S) est très faible à nul dans les domaines de Der et KHZ. Ce pourcentage est le même dans le domaine de SEA et sous serre; 3,1%, alors qu'il était de 4,4 à JSH. Le pourcentage des lignées hétérogènes (H) pour la résistance est respectivement de 9,4%, 7,50% et 6,3% sous serre, à JSH et à SEA. (Figure 1).



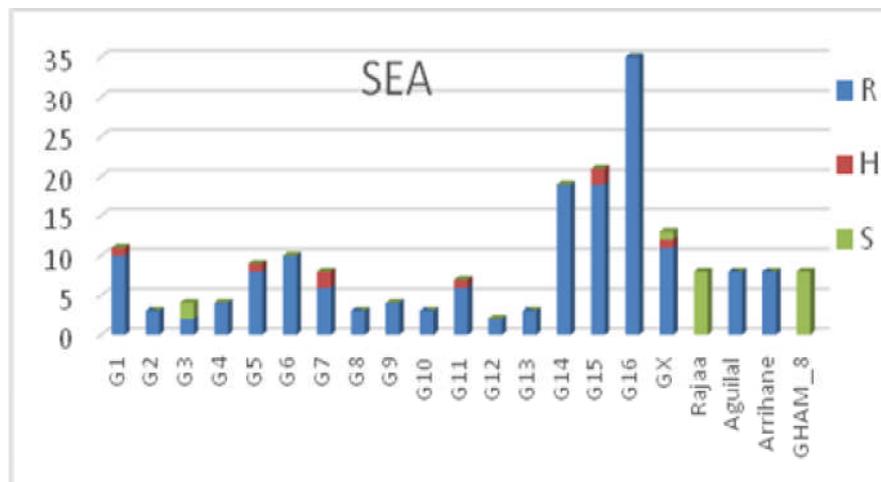
**Figure 1 :** Répartition des pourcentages des lignées en fonction de leur réaction à la cécidomyie sous serre et dans les quatre domaines expérimentaux (Sites)

Seuls les génotypes G1, G2, G3, G5, G7, G11, G15, G17.1, G17.2, G17.4, G17.6, et G17.9 présentent des variabilités de fréquence significativement différentes dans les différents domaines avec une dominance des catégories R. Alors que celles portant les génotypes G4, G6, G8, G9, G10, G12, G13, G14 et G16 étaient résistantes dans les quatre sites et aussi sous serre (Figure 2, 3, 4, 5, 6). Pour les lignées des génotypes G17, sept génotypes étaient résistants dans tous les

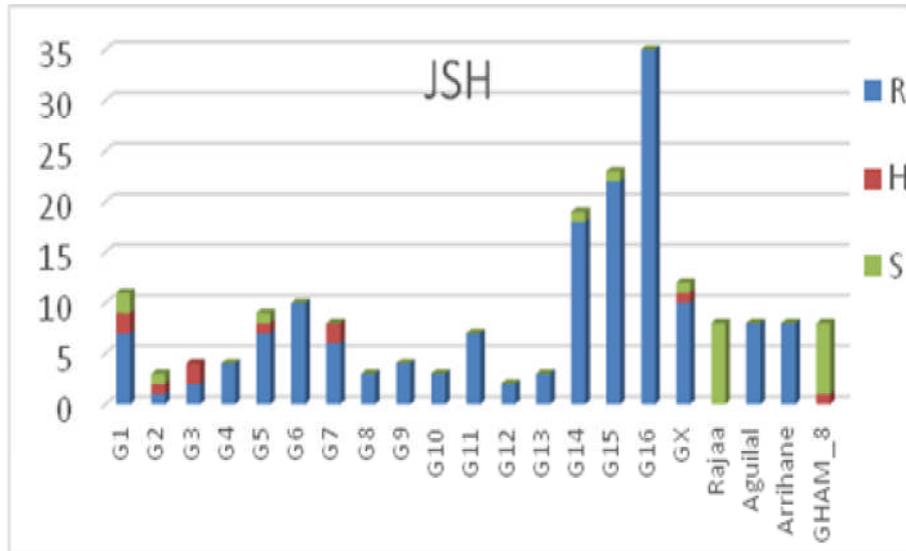
domaines expérimentaux. Les cinq autres génotypes étaient résistants dans les domaines de Deroua et Khemis Zemamra. Le génotype G17.1 était sensible dans le domaine de Jemaa Shaim alors que G17.2 était hétérogène pour la résistance dans ce domaine. Les génotypes G17.4 et G17.6 avaient une réaction hétérogène sous serre et dans le domaine de Sidi El Aidi. Enfin le génotype G17.9 était sensible sous serre et à Sidi El Aidi (Tableau 4).

**Tableau 4:** Répartition des lignées portant les génotypes du groupe G17 en fonction de leur réaction à la mouche de Hesse.

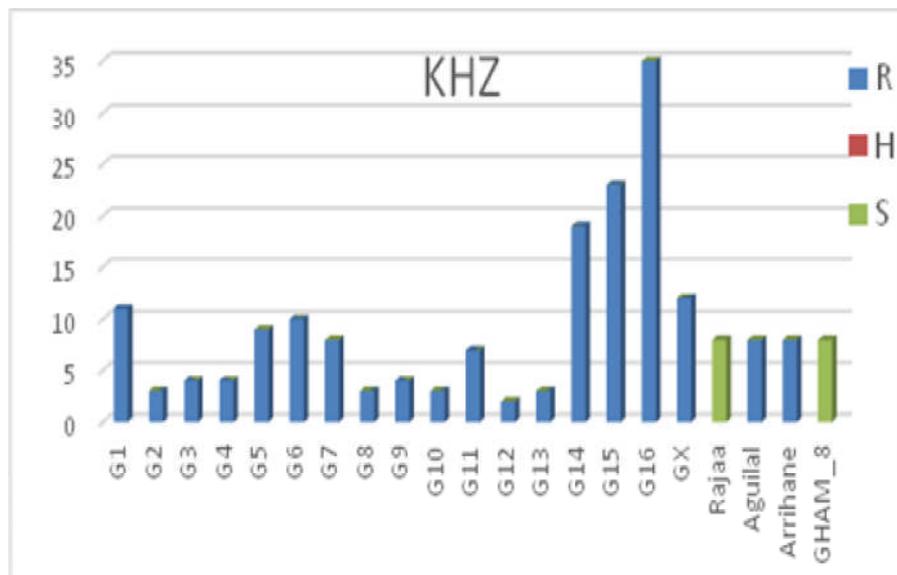
	Der	KHZ	SEA	JS	Serre
G17.1	R	R	R	S	R
G17.2	R	R	R	H	R
G17.4	R	R	H	R	H
G17.6	R	R	H	R	H
G17.9	R	R	S	R	S



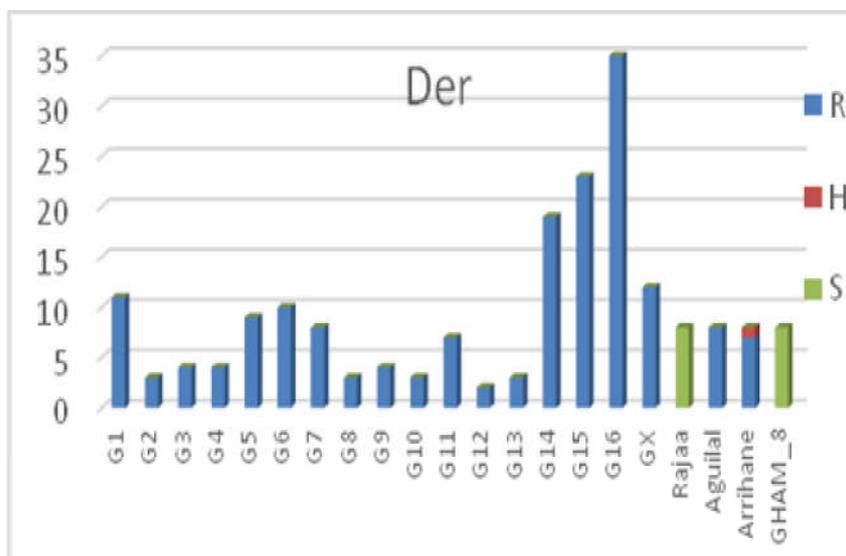
**Figure 2:** Répartition des génotypes en fonction de leur réaction à la cécidomyie à la station expérimentale SEA



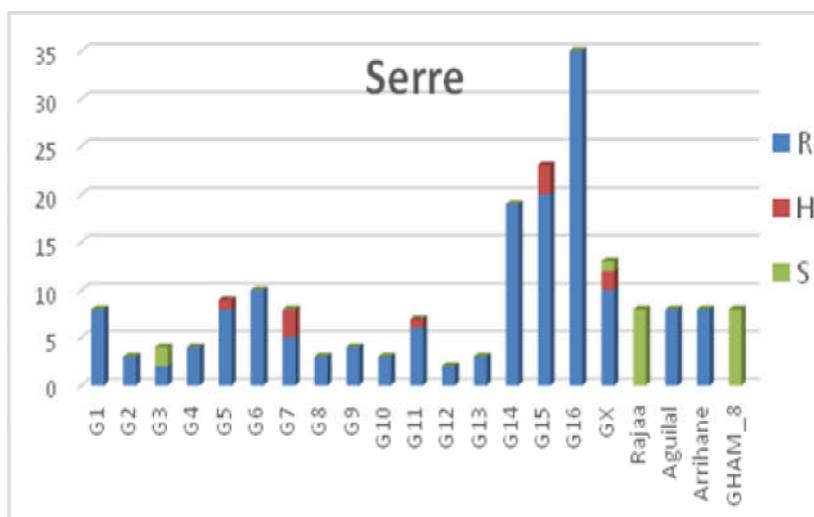
**Figure 3:** Répartition des génotypes en fonction de leur réaction à la cécidomyie à la station expérimentale de JSH



**Figure 4:** Répartition des génotypes en fonction de leur réaction à la cécidomyie à la station expérimentale de KHZ



**Figure 5 :** Répartition des génotypes en fonction de leur réaction à la cécidomyie à la station expérimentale de Der



**Figure 6:** Répartition des génotypes en fonction de leur réaction à la cécidomyie sous serre

**Essais d'estimation de rendement**

L'analyse de la variance des essais de rendement au champ dans les différents sites a montré des différences hautement significatives ( $P < 0,001$ ) (Tableau 5).

**Tableau 5:** Résultats de l'analyse de la variance des rendements en grain

Source	DL	SSE	CM	Valeur F	P > F
Génotype	20	29876.29	1493.81	20.02	<0.001
Site	3	352175.11	117391.70	1573.56	<0.001
Génotype x Site	60	38387.06	639.78	8.58	<0.001

(DL : degré de liberté, SSE : somme des carrés des écarts, CM : carré moyen, F : valeur de Fisher, P : Probabilité).

Les meilleurs rendements en grain ont été obtenus dans le périmètre irrigué du Tadla: 23,7 à 86qx/ha (Tableau 6) qui dépassent de loin la moyenne nationale qui est de 18qx/ha. Les rendements moyens des quatre sites sont classés en trois groupes significativement différents par le test de la plus petite différence significative (PPDS) (Tableau 6). Le

groupe (A) (Deroua) ayant le potentiel de rendement moyen le plus élevé 53,8 qx/ha, suivi par le groupe (B) qui combine les sites de Sidi El Aidi et Jemaa Shaim dont les rendements étaient de 28,2 et 27,8 qx/ha respectivement, et enfin le groupe (C) représenté par le domaine de Khemis Zemamra, 21,5qx/ha.

**Tableau 6:** Répartition des rendements (moyenne, maximum et minimum) et regroupement des domaines expérimentaux en fonction des rendements moyens (toutes lignées confondues) Test PPDS à  $\alpha=0,05$ , PPDS= 1,0027

Site	Moyenne	Minimum	Maximum
Der	53,8 ± 0,6 a	23,7	88,3
SEA	28,2 ± 0,4 b	13,1	57,4
JSH	27,8 ± 0,3 b	10,6	50,3
KHZ	21,5 ± 0,3 c	7,7	41,3

Les moyennes suivie par la même lettre ne sont pas significativement différentes à  $\alpha=0,05$ .

Les rendements moyens dans les différents sites ont été groupés par intervalles comme décrits dans le Tableau 7. Dans le domaine de Deroua, 98,8% des lignées ont présenté des

rendements moyens supérieurs à 35 qx/ha contre 22,5%, 11,9% et 22,5% dans les domaines de Sidi El Aidi, Jemaa Shaim et Khemis Zemamra, respectivement.

**Tableau 7:** Nombre et pourcentage de lignées groupées en fonction de leur rendement dans les quatre domaines expérimentaux

domaine/rendement (qx/ha)	JSH		KHZ		SEA		Der	
	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%
rdmt<15	9	5,6	12	8	2	1,3	0	0
15≤rdmt<20	14	8,8	38	24	14	8,8	0	0
20≤rdmt<25	23	14,4	73	46	37	23,1	0	0
25≤rdmt<30	48	30,0	33	21	33	20,6	0	0
30≤rdmt<35	47	29,4	4	3	38	23,8	2	1,3
rdmt>35	19	11,9	0	0	36	22,5	158	98,8

Rdmt =rendement grain

## DISCUSSION

En analysant les pédigrées des lignées qui ont montré une résistance à la mouche de Hesse sous serre et dans les quatre domaines expérimentaux, il a été possible de distinguer une série de lignées résistantes et à haut potentiel de rendement. Ces lignées sont DOUKKALA, SAFI-3, OUASSOU, JADIDA, ESWYT et INRA 1764, qui constituent un réservoir important de sources de résistance pour l'amélioration génétique du blé. Ces lignées sont issues de croisements entre des variétés/parents performants de différentes origines, adaptés aux conditions climatiques du Maroc, et portant des gènes de résistance/tolérance efficaces au Maroc comme SAADA (*H5*), ARRIHANE (*L222/L254*), et MASSIRA (tolérante) (Jlibène 1992, El Bouhssini & *al.*, 1996, Lhaloui 2005).

La variété SAADA est une variété enregistrée au catalogue officiel Marocain depuis 1989 (Jlibène 1992, El Bouhssini & *al.* 1994). Elle est dérivée de *T. aestivum* (Shands & Cartwright, 1953). Le gène *H5* est localisé sur le chromosome 1A (Stebbins & *al.*, 1983). Par ailleurs la variété Arrihane provient des sources de résistance (*L222/L254*),

sélectionnée dans une pépinière de blé tendre CIMMYT/ICARDA. Cette variété a été enregistrée au catalogue officiel Marocain en 1994 (El Bouhssini & *al.*, 1996).

La présence de larves du premier stade (L1) mortes sur la base des plantes des lignées résistantes indique que ces lignées étaient résistantes par effet antiboisis; les larves meurent dès qu'elles commencent à se nourrir sur la variété résistante (Gallun, 1977 ; Zantoko & Shukle, 1997).

Les variétés sensibles (Nesma et Kanz) ont été introduites dans certains croisements pour leur bonne qualité boulangère et leur haut potentiel de rendement.

Après huit générations de sélection, plusieurs lignées de cette pépinière sont devenues homogènes pour la résistance.

Les effets principaux génotype, site et l'interaction génotype x site (GxS) dans les tests pour l'évaluation de rendement et les niveaux d'infestation par la Cécidomyie des lignées en question dans les quatre sites, étaient hautement significatifs ( $P < 0,001$ ). Ceci est dû aux différences (biotiques et abiotiques) entre les quatre sites (zones agro-climatiques)

(Tableau 1). En outre des études antérieures ont montré une diversité des niveaux de virulence des populations de cécidomyie (Naber & al. 2000, Naber & al. 2003, Otmane & al., 2015). L'interaction GxS est d'importance économique majeure dans la sélection des lignées, et surtout pour juger la stabilité phénotypique d'un génotype particulier (Revanappa & al., 2012). Il est nécessaire d'évaluer les lignées en sélection dans différents environnements, ainsi les performances d'une variété (rendement, tolérance aux différents stress) varient d'un environnement à un autre.

Les lignées portant les génotypes G1, G2, G3, G5, G7, G11, G15 et G17 ont montré des différences dans l'adaptation aux différents environnements. Le test PPDS a permis de regrouper les 4 sites en trois zones Agro-écologiques. Le premier groupe (A) représenté par la région de Tadla (Deroua) zone complètement irriguée avec un faible niveau d'infestation par la cécidomyie, ayant les rendements les plus élevés. Le deuxième groupe (B) combine la région de Chaouia (Sidi El Aidi) et la région d'Abda (Jemaa Shaim) ayant des rendements moyens, sont situées dans les zones arides et semi-arides caractérisées par des températures élevées et par une intense évapotranspiration, et aussi par une forte infestation par la mouche de Hesse. Quant à la région de Doukkala (Khemis Zemamra) constituant un autre

groupe indépendant (C) et ayant les rendements les plus faibles. Malgré la faible infestation par la mouche de Hesse, ce domaine est connu par une sévérité très élevée des maladies foliaires, notamment les rouilles (Naserallah & al., 2011).

Généralement, les 160 lignées étudiées portant différents génotypes avaient toutes des rendements moyens qui dépassent la moyenne nationale, 80 lignées hautement résistantes à la cécidomyie et à haut potentiel de rendement moyen ont été sélectionnées pour les tests de rendement dans plusieurs sites/années.

## CONCLUSION

Cette double sélection pour la résistance à la cécidomyie sous serre et au champ sous les différentes conditions climatiques du pays est très discriminatoire pour éliminer toutes les lignées qui portent encore des plantes sensibles et ne garder que les lignées totalement résistantes et à haut potentiel de rendement, qui seront par la suite présentées pour l'enregistrement au catalogue officiel. Une fois acceptées, ces lignées augmenteront le nombre des variétés résistantes à ce ravageur au Maroc et contribueront à la réduction des pertes dues à ce redoutable insecte tout en réduisant le coût de production de blé.

## REFERENCES

- AÏT EL MEKKI A.(2006). Les politiques céréalières au Maroc, Les notes d'analyses du CIHEAM N °7 – Mars. Ecole National d'Agriculture de Meknès.
- AMRI A., HATCHETT J. H. COX TS. EL BOUHSSINI M. &SEARS R. G. (1990). Resistance to Hessian fly from North Africa durum wheat germplasm. *Crop Sci.* 30: 378–381.
- AMRI A., EL BOUHSSINI M., LHALOUI S., COX T. S., &HATCHETT J.H.(1992a). Estimates of yield loss due to Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) on bread wheat using near-isogenic lines. *Al Awamia.* 77: 75–87.

- AMRI A., EL BOUHSSINI M., JLIBENE M., COX TS. , &HATCHETT J. H. (1992b).Evaluation of *Aegilops* and *Triticum*species for resistance to the Moroccan Hessian fly (Diptera: Cécidomyiidae). *Al Awamia*. 77, 109 –118.
- AZZAM A., AZZAM S., LHALOUI S., AMRI A., EL BOUHSSINI M., & MOUSSAOUI M.(1997). Economic returns to research in Hessian fly resistant bread wheat varieties in Morocco. *J. Econ. Entomol.* 90: 1-5.
- EL BOUHSSINI M., LHALOUI S., HATCHETT J.H., & NABER N. (1997). Nouveaux gènes de résistance efficaces contre la mouche de Hesse (Diptères: Cécidomyiidae) au Maroc. *Al Awamia*. 96: 55–63.
- EL BOUHSSINI M., LHALOUI S., AMRI A., JLIBENE M., HATCHETT J.H., NASSERELLAH N. &NACHIT M.(1996). Wheat genetic control of Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) in Morocco. *Field Crops Research*. 45: 111-114.
- EL BOUHSSINI M., AMRI A., & HATCHETT J.H. (1988). Wheat genes conditioning resistance to the Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) in Morocco. *J. Econ. Entomol.* 81 (2): 709–712.
- EL MOURID M.,& KARROU M.(1996). Agriculture in arid and semi-arid regions of Morocco: Challenges and prospects. *Al Awamia*. 92: 69-81.
- FORMUSOH E., HATCHETT J.H., BLACK W.C. & STUART J.J.(1996). Sex-linked inheritance of virulence against wheat resistance gene *H9* in the Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae), *Annals of the Entomological Society of America*. 89: 428–434.
- HATCHET J.H. & GALLUN R.L.(1970). Genetics of the ability of the Hessian fly, *Mayetiola destructor* (Say), to survive on wheat having different genes for resistance.*Annals of the Entomological Society of America*. 63: 1400-1407.
- GALLUN R.L. (1977). Genetic basis of Hessian fly epidemics. *Annals of the New York Academy of Sciences* 287: 223-229.
- GALLAGHER L.W., BENYASSINE A., BENLAHBIB O., & OBANNI M. (1987). Sources of resistance to *Mayetiola destructor* in bread wheat and durum wheat in Morocco.*Euphytica* 36: 591–600.
- JLIBENE M. (1992). Agronomic evaluation of the Hessian fly resistant wheat cultivar ‘Saada’ in Morocco. *Al Aawamia* 77: 147-159.
- LHALOUI S., BOUCHMAN L., EL BOUHSSINI M., STARKS K., KEITH D. & EL HOUSSAINI K. (1992a). 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.
- LHALOUI, S., L. BUSCHMAN, M. EL BOUHSSINI, A. AMRI, J. HATCHETT, D. KEITH, K. STARKS, &K. EL HOUSSAINI.(1992b). Infestations of *Mayetiola* spp. (Diptera: Cecidomyiidae) in Bread wheat, Durum wheat, and Barley: Results of five annual Surveys in the major cereal growing regions of Morocco. *Al Awamia*. 77: 21-52.
- LHALOUI S., EL BOUHSSINI M., NASSERELLAH N., AMRI A., NACHIT M., EL HADDOURY J., & JLIBÈNE M. (2005). *Les Cécidomyies Des Céréales Au Maroc : Biologie, Dégâts Et Moyens de Lutte*. 54p. ISBN 9981- 1994-8. DL 2005/2391
- LHALOUI S., HATCHETT J.H., & WILDE G. E.(1996). Evaluation of New Zealand Barleys for resistance to *Mayetiola destructor* and *M. hordei* (Diptera: Cecidomyiidae), and the effect of temperature on resistance expression to Hessian fly. *J. Econ. Entomol.* 89: 562-567.

- LI C., CHEN M., CHAO S., YU J. & BAI G. (2013). Identification of a novel gene, H34, in wheat using recombinant inbred lines and single nucleotide polymorphism markers. *Theor. Appl. Genet.* 126: 2065-2071.
- MILLER R. H., KAMEL A., LHALOUI S., & EL BOUHSSINI M.(1989). Survey of Hessian fly in Northern Tunisia. *Rachis* 8: 27-28.
- NABER N., EL BOUHSSINI M., & LHALOUI S.(2003). Biotypes of Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) in Morocco. *Journal of Applied Entomology* 127: 174-176
- NABER N., EL BOUHSSINI M., LABHILILI M., UDUPA S.M., NACHIT M.M., BAUM M, LHALOUI S., BENSLIMANE A. & H. EL ABBOUYI. (2000). Genetic variation among populations of the Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) in Morocco and Syria. *Bulletin of Entomological Research* 90: 245-252.
- NASERELLAH N., AMAMOU A., TAGHOUTI M. & ANNICCHIARICO P. (2011). Adaptation of Moroccan durum wheat varieties from different breeding areas. *Journal of Plant Breeding and Crop Science.* 3: 34-40.
- OTMANE R., LHALOUI S., EL BOUHSSINI M., OURINICHE S. & BENCHARKI B. (2015). Variabilité génétique des populations de la cécidomyie de blé *Mayetiola destructor* (Say) (Diptera: Cecidomyiidae) au Maroc. *Revue Marocaine de Protection des Plantes.* 8: 27-30.
- RATCLIFFE R H. & HATCHETT.J.H. (1997). Biology and genetics of the Hessian fly and resistance in wheat. *New development in Entomology:* 47-68.
- REVANAPA S.B., KAMANNAVAR P.Y, VIJAYKUMAR A.G., GANAJAXI M., GAJAN D.K., ARUNKUMAR B. & SALIMATH P.M. (2012). Genotype X Environment and stability analysis for grain yield in black gram (*Vigna Mungo*). *Legume Res.*35 (1): 1-2,
- SHANDS R.G. & CARTWRIGHT W.B.(1953).A fifth gene conditioning Hessian fly response in common wheat. *Agron. J.* 45: 302-307.
- STEBBINS, N.B., PATTERSON, F.L. & GALLUN, R.L. (1983). Inheritance of resistance of PI 94587 wheat to biotypes B and D of Hessian fly. *Crop Sci.*, 23: 251-253.
- SUBRAMANYAM S., SARDESAI N., MINOCHA S., ZHENG C., SHUKLE C. R. H. & WILLIAMS, C. E.(2015). Hessian fly larval feeding triggers enhanced polyamine levels in susceptible but not resistant wheat. *BMCPlant Biology*, 15:3
- ZANTOKO L & SHUKLE R.H.(1997). Genetics of virulence in the Hessian fly to resistance gene *H13* in wheat. *Journal of Heredity* **88**, 120–123.