

ROYAUME DU MAROC



Les Cécidomyies des Céréales au Maroc

Les Cécidomyies des Céréales au Maroc

Biologie, dégâts et moyens de lutte

Saadia LHALOUI

Biologie, dégâts et moyens de lutte



LES CECIDOMYIES DES CEREALES AU MAROC

BIOLOGIE, DEGATS ET MOYENS DE LUTTE

Saadia Lhaloui¹, Mustapha El Bouhssini²,
Nsarellah Naserlhaq¹, Ahmed Amri²,
Miloudi Nachit², Jamal El Haddoury¹
et Mohamed Jlibène³





SOMMAIRE

Préface	05
Remerciements	06
Introduction	07
I. Les Cécidomyies des céréales au Maroc	08
I.1. Les différentes espèces	08
I.2. Biologie et cycle de développement de l'insecte	10
I.3. Nombre de générations	14
II. Distribution et niveaux d'infestation au Maroc	15
II.1. Dans les plaines	15
II.2. Dans les régions de haute altitude	18
III. Nature des dégâts et symptômes des attaques	20
IV. Estimation des pertes de rendement	21
V. Moyens de lutte	23
V1. La date de semis	23
V2. La résistance des céréales à la cécidomyie	26
V.2.a. Différents mécanismes de résistance	26
V.2.b. Méthodes de tri pour l'identification de germoplasme résistant par antibiosis	27
V.2.c. Variétés de blé résistantes à la cécidomyie au Maroc	30
V.2.d. Germoplasme sauvage apparenté au blé possédant la résistance à la mouche de Hesse au Maroc	35
V.2.e. Résistance chez l'orge	35
V.2.f. Biotypes	37

VI. Autres moyens de lutte	39
VI.1. Enfouissement des chaumes	39
VI.2. Incinération des chaumes	39
VI.3 Rotation des cultures et fertilisation azotée	39
VI.4. Lutte chimique	40
VI.5. Lutte biologique	41
Conclusion	42
Références bibliographiques	43



Préface

Les céréales à paille (blé et orge) sont les principales cultures vivrières du Maroc. Chaque année, le blé et l'orge sont cultivés sur plus de trois millions et deux millions d'hectares respectivement. Cependant, ces cultures sont régulièrement attaquées par un grand nombre de ravageurs qui déprécient les rendements et limitent le potentiel de production.

La mouche de Hesse est l'un des principaux ravageurs du blé. Des infestations très élevées sont régulièrement détectées au Maroc où d'importantes attaques sont enregistrées annuellement dans les principales zones céréalières. Les dégâts causés par ce ravageur peuvent aller jusqu'à la destruction totale de la culture, et sont plus importants dans les régions semi-arides, là où les plantes souffrent généralement de stress hydrique.

La cécidomyie à galle de l'orge est à son tour un grand ravageur de l'orge. En années de fortes attaques, les dégâts occasionnés par ce ravageur peuvent atteindre un tiers du rendement.

Economiquement, les pertes dues à la cécidomyie dans les zones arides et semi-arides du Maroc ont été quantifiées à plus de 200 millions de DH par an. Une étude économique a montré que l'investissement dans la recherche pour développer des variétés résistantes à ce ravageur génère un taux de rentabilité interne de 39 %.

Des avancées significatives ont été réalisées par les chercheurs de l'INRA dans la compréhension de la biologie et la dynamique des populations des cécidomyies au Maroc. Des progrès considérables ont également été enregistrés en matière d'amélioration génétique et de création de variétés résistantes à la cécidomyie chez le blé.

Ainsi, quatre variétés de blé tendre résistantes à la mouche de Hesse ont été sélectionnées et enregistrées au catalogue officiel marocain. Il s'agit de Saada, Massira, Aguilal et Arrihane. Ces deux dernières variétés sont maintenant disponibles pour les agriculteurs. L'utilisation à grande échelle de ces variétés conduira à une amélioration significative de la production du blé tendre au Maroc.

En outre, cinq variétés de blé dur résistantes à la cécidomyie et à haut potentiel de rendement (IRDEN, Marwane, Nassira, Amria, et Chaoui) ont été inscrites au catalogue officiel. Il est attendu à ce que leur adoption par les agriculteurs permette une augmentation de la production marocaine de blé dur de l'ordre de 30%.

Pr. Hamid Narjisse

Le Directeur de l'Institut National
de la Recherche Agronomique

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs vifs remerciements aux Dr Ahmed Sekkat, professeur à l'Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès et Dr Bernard Christian Jaques Pintureau, Chercheur à l'INRA/INSA de Lyon-France, qui ont bien voulu lire et apporter leurs commentaires et corrections au manuscrit avant l'impression.



Introduction

Les céréales sont les principales cultures vivrières du Maroc. Le blé est cultivé sur plus de 3 millions d'hectares, et l'orge sur 2 millions. Cependant, ces cultures sont attaquées chaque année par un grand nombre de ravageurs qui déprécient les rendements et limitent le potentiel de production.

La mouche de Hesse, *Mayetiola destructor* (Say), est l'un des principaux ravageurs du blé (*Triticum aestivum* et *T. turgidum* var. *durum*) dans la plupart des régions céréalières du Monde. Originaire de l'Asie de l'Ouest, centre de diversité du blé, l'insecte s'est propagé en Europe, en Afrique du Nord et en Amérique du Nord (Miller et al. 1989, Ratcliffe et Hatchett 1997). Des infestations très élevées sont régulièrement détectées en Amérique du Nord, dans les pays à l'ouest de la Méditerranée, et dans le nord du Kazakhstan. Au Maroc, d'importantes attaques sont enregistrées annuellement dans les principales zones céréalières et les dégâts causés par ce ravageur peuvent aller jusqu'à la destruction totale de la culture, surtout si l'infestation coïncide avec le stade jeune de la plante (cas des semis tardifs).

La cécidomyie à galle de l'orge, *Mayetiola hordei* Kieffer, est un autre grand ravageur des céréales dans la région méditerranéenne où elle est endémique. En années de fortes attaques, les dégâts occasionnés à l'orge par ce ravageur peuvent atteindre une moyenne de 30 % du rendement.

I. Les cécidomyies des céréales au Maroc

I.1. Les différentes espèces

Les cécidomyies ont été reconnues depuis plusieurs années comme les principaux ravageurs des céréales, blés et orges, au Maroc (Anonyme 1934). Plusieurs chercheurs ont travaillé sur la biologie et la systématique de ces insectes, et ces travaux ont été publiés au cours des années avec des résultats plus ou moins contradictoires.

Ainsi Mesnil (1934) avait conclu de son travail conduit au Maroc et en Europe que la mouche de Hesse, *Mayetiola destructor*, existait seulement en Europe, et attaquait aussi bien les blés que l'orge, alors qu'en Afrique du Nord, une autre espèce, qu'il avait nommée *Mayetiola mimeuri* (Mesnil) attaque les blés, les orges et l'avoine. Sa conclusion a été basée sur une différence anatomique découverte entre la mouche de Hesse d'Europe et les spécimens de cécidomyies collectés au Maroc. Ce résultat a été corroboré par Balachowsky et Mesnil (1935) qui ont redécrit l'espèce *M. mimeuri*, et confirmé les résultats trouvés par Mesnil (1934).

Par contre, Jourdan (1938a) compara l'anatomie des organes génitaux d'adultes collectés au Maroc et en Europe, et ne trouva aucune différence nette. Il conclut que *M. destructor* était une espèce variable qui existait aussi bien en Europe qu'en Afrique du Nord. Ce résultat fut consolidé par Hudault et Jourdan (1954) qui ont fait des croisements entre individus femelles et mâles venant de l'orge et du blé, et ont trouvé que ces individus étaient interfertiles, et par conséquent, appartenaient à la même espèce. Coutin et al. (1974) ont toutefois remarqué que les adultes de cécidomyie



provenant du blé et de l'orge n'étaient pas interfertiles. Ils ont aussi indiqué que les pupes provenant de l'orge étaient variables et correspondaient aussi bien à *M. destructor* qu'à *M. hordei*, alors que celles provenant du blé correspondaient toujours à *M. destructor*.

Ces derniers résultats confirment ceux de 2 études conduites séparément en Europe, l'une par Roberti (1953) en Italie, et l'autre par Alfaro (1955) en Espagne. Ces deux études montrent bien l'existence de deux espèces différentes de cécidomyies, l'une spécifique à l'orge identifiée comme *M. mimeuri*, et l'autre attaquant principalement le blé, mais peut aussi se trouver sur orge, identifiée comme *M. destructor*.

L'histoire n'a été définitivement clarifiée que récemment au Maroc à travers l'étude qui a été réalisée par Gagné et al. (1991). Ces auteurs ont conclu qu'il y avait, comme en Espagne et en Italie, deux espèces différentes de cécidomyie au



Pupe de la cécidomyie à galle de l'orge formant une galle bien distincte (haut) et pupes de la mouche de Hesse (bas)

Maroc. L'une de ces deux espèces est bien *Mayetiola destructor* qui attaque principalement le blé, mais qui s'attaque aussi à l'orge. Cette espèce a une large distribution, couvrant l'Afrique du Nord, l'Europe, l'Asie et l'Amérique du Nord. L'autre espèce est *Mayetiola mimeuri* qui est spécifique à l'orge. Cette dernière espèce a d'abord été décrite par Kieffer (1909) qui l'a nommée *Mayetiola hordei*. En respectant les lois de la nomenclature, Gagné et al. (1991) ont donc adopté le nom *M. hordei* pour l'espèce de cécidomyie spécifique à l'orge, et ont considéré le nom de *mimeuri* comme un synonyme junior.

Avec l'espèce connue sur avoine, c'est donc trois espèces différentes de cécidomyies qui sont identifiées comme ravageurs des céréales au Maroc: la mouche de Hesse, *Mayetiola destructor* attaque surtout le blé mais peut aussi infester l'orge; la cécidomyie à galle de l'orge, *Mayetiola hordei*, est spécifique à l'orge et sévit de façon très redoutable dans les pays du bassin méditerranéen et la cécidomyie de l'avoine, *Mayetiola avenae* Marshall qui est spécifique à l'avoine.

I.2. Biologie et cycle de développement de l'insecte

Ce paragraphe traitera des deux espèces ayant le plus fort impact économique; la Mouche de Hesse (*M. destructor*) et la cécidomyie à galle de l'orge (*M. hordei*). Les différences entre ces deux espèces seront mentionnées quand cette précision sera nécessaire.

L'insecte passe l'été en diapause, sous forme de larves de troisième stade, collées aux chaumes. L'arrivée des premières pluies significatives de l'automne et la baisse des



températures lèvent la diapause de ces larves. Elles se métamorphosent alors en pupes, stade qui dure presque dix jours. L'émergence des adultes de la génération estivale a donc lieu en automne à partir des pupes contenues dans les chaumes et autres résidus de blé et orge infestés lors de la campagne agricole précédente.

Les adultes ressemblent à des moustiques; ils sont fragiles et grêles, surtout les mâles. Les femelles, qui portent les oeufs, ont l'abdomen plus large et un aspect plus rougeâtre. Les adultes ne se nourrissent pas et ont des possibilités de vol réduites. C'est surtout le vent qui assure leur dispersion à des distances plus au moins grandes. La durée de vie des adultes est très courte, de 2 jours pour le mâle à 2-5 jours pour les femelles (Durand 1967, Lhaloui 1995).

Dès qu'elles émergent, les femelles sortent leur ovipositeur et émettent une phéromone sexuelle qui attire les mâles pour la copulation (Morrill 1982,

McKay et al. 1984). Une demi-heure à 2 heures après la copulation, les femelles commencent à pondre à la surface supérieure des feuilles des jeunes plantules. La cécidomyie de l'orge dépose aussi une grande partie de ses œufs à la surface inférieure des feuilles. Les femelles déposent 200 à 400 œufs le long des nervures des feuilles et meurent dès la fin de la ponte. Les œufs sont très petits (0,4 à 0,5 mm) et rougeâtres. Leur incubation, dont la durée est fonction de la température, dure 4 à dix jours (Lhaloui 1995) à une température de $18\pm 2^{\circ}\text{C}$. Elle dure ainsi 5 jours chez la mouche de Hesse (Hatchett et al. 1981, Hatchett 1986) et 7 jours chez la cécidomyie de l'orge (Lhaloui 1995). A l'éclosion, les larves de premier stade (L1) migrent vers la base des tiges, et s'arrêtent au niveau des nœuds où elles s'installent et commencent à se nourrir (Lhaloui 1995, Metcalf et al. 1962, Cartwright et La Hue 1944). Ces larves sont de même couleur et taille que les œufs. Au cours de ce stade, la longueur des

larves double et peut atteindre 1,7 mm (Gagné et Hatchett 1989, Lhaloui 1995). Le nombre de larves de premier âge qui s'installent ne représente qu'environ 1/3 des oeufs pondus. Cette mortalité élevée au cours de la migration des L1 est causée par plusieurs facteurs (faible humidité relative, vent fort, température basse ($< 0^{\circ} \text{C}$) et fortes précipitations).

Les larves du premier stade y demeurent 5 à 6 jours puis se transforment en larves de deuxième stade (L2) qui dure une dizaine de jours. Ces larves sont caractérisées par une croissance rapide. Leur longueur, qui peut atteindre 4 à 5 mm, dépend toutefois de la niche et de la densité larvaire (El Bouhssini et al. 1996a). Vers la fin de ce stade (à partir du dixième ou onzième jour de vie), les téguments larvaires brunissent et durcissent. Les larves de troisième stade (L3) apparaissent alors à l'intérieur de l'exuvie de mue du deuxième stade (Gagné et Hatchett 1989). Ces larves ont la même taille que celles du deuxième âge, mais perdent leur transparence. En général, les stades larvaires de la cécidomyie à galle de l'orge se développent plus lentement que ceux de la mouche de Hesse; ils nécessitent 2 à 5 jours de plus pour compléter leur développement (Lhaloui 1995).

Selon les conditions abiotiques dans lesquelles se trouve la plante hôte, le troisième stade peut, soit subir une nymphose et se transformer en puppe, puis en adulte, soit rentrer en diapause jusqu'à ce que les conditions s'améliorent. Le troisième stade et la puppe restent enveloppés dans l'exuvie de mue du deuxième stade, et sont communément appelés "Grain de Lin ou flaxseed". Ces deux stades ne se nourrissent pas. Au Maroc, la durée de la nymphose (entre la fin du stade L3 et la formation de la puppe) est en général de 8 à 11 jours, que la génération soit



hivernale ou printanière. Durant la nymphose, les individus se renversent à l'intérieur du cocon, et s'orientent la tête vers le haut, afin de faciliter l'émergence des adultes (Lhaloui 1995, Hatchett 1986).

Les stades L2 et pupa portent des caractéristiques distinctives

des deux espèces *Mayetiola destructor* et *M. hordei*. On distingue en effet nettement une galle sur laquelle se nichent et se collent les individus de la cécidomyie de l'orge, alors que ceux de la mouche de Hesse ne forment pas de galles et restent facilement décollables de la tige (Gagné et al. 1991).



Cycle de développement de la cécidomyie



I.3. Nombre de générations

Le nombre de générations varie selon les conditions climatiques. Les premières pluies significatives automnales et la baisse de température sont des facteurs abiotiques déterminants pour la levée de diapause chez la L3 et l'apparition des adultes de la génération estivale (Ouchaou 1972, Lhaloui 1986).

Trois générations de cécidomyies peuvent se développer par an au Maroc, deux générations complètes et une partielle qui ne pourra se développer que si la fin de saison de culture est pluvieuse (Durand 1967, Lhaloui 1986, Lhaloui 1995).

Les adultes qui émergent en automne vont chercher des plantes cultivées ou spontanées pour pondre et établir la première génération de la campagne de culture. L'émergence de ces adultes est très échelonnée, ce qui fait que l'attaque par la première génération n'est souvent pas très sévère sauf dans les parcelles très précoces qui attirent une grande masse d'adultes pour la ponte. En général, cette génération commence à la fin octobre chez la cécidomyie de l'orge, et au début novembre chez la mouche de Hesse, et s'achève durant la fin décembre ou le début janvier. Les adultes qui émergent de cette première génération vont donner une deuxième génération. Leur émergence est plus concentrée dans le temps et leur effectif est beaucoup plus élevé qu'à la génération précédente. Ces deux facteurs font que l'attaque des céréales devient sévère, surtout celles des jeunes plantes qui sont préférées par les femelles pour la ponte (Lhaloui 1995).



Les larves issues de cette génération se développent jusqu'au mois de mars. La majorité de ces larves rentrent en diapause à l'arrivée des conditions environnementales défavorables (sécheresse et hautes températures du printemps). Cette population diapausante forme l'inoculum pour la saison suivante. Les larves qui ne rentrent pas en diapause se développent en adultes qui volent à la recherche de jeunes talles. Les femelles pondent sur les feuilles drapeaux de plantes adultes. Les larves issues de ces œufs n'ont en général pas assez de temps pour compléter leur cycle avant la moisson. Ceci forme la troisième génération qui ne se développe complètement qu'en années pluvieuses où le cycle végétatif des cultures est prolongé.

Cependant, toutes ces générations se chevauchent, et tous les stades de développement de l'insecte peuvent donc exister en même temps dans la nature. De plus, une faible proportion de chaque génération reste en diapause pendant au moins une année. Il s'agit d'un phénomène biologique qui semble jouer un rôle important dans la survie de l'espèce.

II. Distribution et niveaux d'infestation au Maroc

II.1. Dans les plaines

Pour estimer l'intensité et la distribution des infestations et comparer leurs niveaux sur les trois céréales étudiées (blé tendre, blé dur et orge), des surveillances annuelles ont été conduites dans 7 grandes provinces de production céréalière des régions semi- arides du Maroc. Ces prospections ont montré que la cécidomyie est largement distribuée dans toutes les régions céréalières. En moyenne 88, 85 et 80% des champs de blé tendre, blé dur et orge étaient respectivement infestés. Des infestations de niveau économique (20 % de talles infestées, Lafever et al. 1980) ont été observées respectivement dans 65, 55 et 55% des champs de blé tendre, blé dur, et orge (Lhaloui et al. 1992a). Des infestations sévères (plus de 50% de talles infestées) ont été observées respectivement dans 27, 22 et 23% des champs de blé tendre, blé dur et orge (Tableau 1).

A quelques exceptions près, le pourcentage de champs ayant atteint une infestation de niveau économique ou sévère est resté stable au cours des années 1986 à 1990 (Tableau 2).

Les infestations (% talles infestées) les plus élevées ont été enregistrées dans les provinces de Settat, Safi et El Jadida. Bien que la mouche de Hesse soit présente dans la majorité des régions de culture du blé et de l'orge, les dégâts sont en effet plus importants dans les régions semi-arides, là où les plantes souffrent généralement de stress hydrique (Lhaloui et al. 1992a).

Tableau 1: Infestations des cécidomyies (au cours des 5 années: 1986 à 1990), dans les champs de blé et de l'orge de 7 plaines céréalières du Maroc (d'après Lhaloui et al. 1992a)

Provinces	Nombre Champs Echantillonnés			% Champs Infestés			% Champs avec talles infestées à					
							Plus de 20 %			Plus de 50 %		
	BT ¹	BD ²	Orge	BT	BD	Orge	BT	BD	Orge	BT	BD	Orge
Settat	44	44	48	100	98	100	91	75	85	48	36	42
El Jadida	41	40	42	98	98	100	90	83	86	46	35	31
Safi	47	47	53	100	96	92	74	70	79	45	45	45
Marrakech	33	25	37	64	68	38	33	24	11	6	4	3
El Kalaa	58	58	58	90	83	71	60	43	29	16	9	7
B. Mellal	54	40	38	80	78	68	59	48	42	17	10	13
Khouribga	35	31	43	80	65	84	40	26	44	11	6	12
Total/Moyenne ³	312	285	319	88	85	80	65	55	55	27	22	23

¹Blé tendre, ²Blé dur, ³ total des champs prospectés et moyenne des infestations



Tableau 2 : Infestations des cécidomyies dans les champs de blé et d'orge de 7 provinces céréalières du Maroc, au cours des années 1986 à 1990 (d'après Lhaloui et al. 1992a)

Années	Nombre Champs			% Champs			% Champs avec talles infestées à					
	Echantillonnés			Infestés			Plus de 20 %			Plus de 50 %		
	BT ¹	BD ²	Orge	BT	BD	Orge	BT	BD	Orge	BT	BD	Orge
1986	61	57	59	87	88	78	72	61	56	36	30	25
1987	56	36	55	79	67	75	25	22	35	9	3	4
1988	59	36	71	86	79	72	66	41	44	27	7	18
1989	63	62	62	94	90	85	92	89	85	30	39	40
1990	73	69	72	93	94	90	67	49	54	32	26	24
Total/Moyenne ³	312	285	319	88	85	80	65	55	55	27	22	23

¹Blé tendre, ²Blé dur, ³ total des champs prospectés et moyenne des infestations

Durant les cinq années 1996 à 2000, un autre suivi a été effectué pour observer l'évolution de l'insecte dans les régions de Chaouia et Abda, considérées comme foyers permanents de cet insecte. Les surveillances ont confirmé les résultats obtenus auparavant. Ces 2 plaines céréalières continuent donc à souffrir de la cécidomyie qui reste un facteur limitant de la production. Chaque année, la majorité des champs prospectés a été infestée, avec de degrés plus ou moins forts selon les conditions climatiques et la date de semis. En prenant en compte les résultats de ces 5 années, les niveaux d'infestation ont été élevés et homogènes sur les trois céréales, blé dur, blé tendre et orge (Tableau 3).

Tableau 3: Infestations des cécidomyies dans les champs de blé et orge des plaines de Chaouia et Abda de 1996 à 2000.

Régions	Nombre Champs Echantillonnés			% Champs Infestés			% Champs avec plus de 20 % talles infestées		
	BT ¹	BD ²	Orge	BT	BD	Orge	BT	BD	Orge
	Chaouia	59	56	61	100	96	100	95	85
Abda	57	63	55	100	94	100	96	83	85
Moyenne/Total ³	116	119	116	100	95	100	95	84	87

¹Blé tendre, ²Blé dur, ³ total des champs prospectés et moyenne des infestations

Depuis la saison 2000-2001, des prospections sont conduites chaque année, aussi bien dans les régions identifiées comme foyers du ravageur que dans les régions situées au nord du pays, où le climat est plus humide. Les résultats indiquent toujours des pullulations fortes dans les plaines de Chaouia, Doukkala, et Abda, surtout après des semis tardifs qui favorisent les attaques. Des infestations assez élevées sont également notées dans les régions de Tifelt, Khemisset, Meknès et Fès, surtout après des semis tardifs. Cependant, les conditions climatiques favorables régnant dans ces dernières zones permettent une bonne croissance des cultures et par conséquent une meilleure tolérance aux attaques de la cécidomyie.

II.2. Dans les régions de haute altitude

Une surveillance a été conduite, à petite échelle, dans les régions de haute altitude du Moyen Atlas durant 2



campagnes de cultures successives. Cette étude a montré que 72% des champs de blé tendre sont infestés par la cécidomyie, avec 27 % de talles infestées. En ce qui concerne le blé dur, le pourcentage de champs infestés a été équivalent à celui relevé pour le blé tendre (69%), mais l'infestation des talles a été moindre (16%) (Lhaloui et al. 2001). La grande différence fut observée au niveau de l'orge. A l'inverse de la situation décrite

dans les plaines, où l'infestation sur orge est équivalente à celle sur blé, il a été noté qu'en haute altitude la cécidomyie de l'orge est presque inexistante (Tableau 4). A l'exception d'une très faible infestation observée dans 2 champs de la région d'Annoceur, aucune infestation n'a été relevée (Lhaloui et al. 1997a). Ceci indique que la cécidomyie de l'orge n'est pas un ravageur potentiel de cette culture en haute altitude.

Tableau 4: Infestations des cécidomyies dans les champs de blé et d'orge des zones de haute altitude du Moyen Atlas (d'après Lhaloui et al. 1997a)

Régions	Nombre Champs Echantillonnés			% Champs Infestés			% Plantes Infestées		
	BT ¹	BD ²	Orge	BT	BD	Orge	BT	BD	Orge
Annoceur	7	2	8	100	100	25	54	37	2,5
Guigou	7	3	7	71	67	0	12	8	0
Midelt	4	8	5	50	56	0	15	6	0
El Ksibah	4	7	2	74	48	0	30	14	0
Azilal	3	7	7	67	74	0	25	14	0
Total/Moyenne ³	25	27	29	72	69	6.9	27	16	0.7

¹Blé tendre, ²Blé dur, ³ total des champs prospectés et moyenne des infestations

III. Nature des dégâts et symptômes des attaques

Les cécidomyies appartiennent à la grande famille des cécidomyiidae, de l'ordre des Diptères, qui est lui-même un ordre très large parmi les insectes. Cette famille est caractérisée par la cécidogenèse, ou multiplication anormale des cellules végétales attaquées (point de nourriture). Ces cellules deviennent comme cancéreuses (Ertel 1975). *Mayetiola destructor* (Say) fait toutefois exception à cette règle générale, et ne provoque pas de cécidogenèse. Elle cause un rabougrissement des talles infestées qui deviennent vert foncé et s'arrêtent de croître. Ce genre de dégâts est observé sur jeunes talles. Les talles attaquées à un stade plus développé ne sont pas complètement tuées, mais subissent un raccourcissement des entre-nœuds, et leurs rendements en grain et en paille sont très réduits (Metcalf et al. 1962, Lhaloui 1992b, Hatchett 1986). *Mayetiola hordei* provoque le même genre de rabougrissement chez l'orge, mais elle est surtout caractérisée par la formation de galle sur le point d'attaque (Gagné et al. 1991). Cette galle semble être une forme de défense de la plante contre l'attaque de la larve.

Les dégâts peuvent être infligés quelques jours après le début d'attaque de la plante par les larves de premier stade. Si la plante est résistante, c'est-à-dire porte un ou plusieurs gènes de résistance ayant un effet d'antibiosis, les larves meurent et la plante garde une couleur vert clair, et continue son développement végétatif normal. Si la plante est sensible, c'est-à-dire qu'elle ne porte aucun gène de résistance, la larve survit et la plante devient rabougrie avec des feuilles de couleur vert foncé, elle s'arrête de croître, se



Dégâts causés par la cécidomyie sur plantes sensibles. Les plantes sont rabougries et de couleur vert foncé.



Différence entre variétés résistante (gauche) et sensible (droite)

dessèche et finit éventuellement par mourir. Une seule larve est suffisante pour tuer une talle (Hatchett 1986). Cependant, les larves survivent quand la plante est tolérante ou possède un ou plusieurs gènes qui permettent leur survie (El Bouhssini et al. 1996a).

IV. Estimation des pertes de rendement

Au Maroc, les dégâts causés par ce ravageur peuvent aller jusqu'à la destruction totale de la culture, surtout si l'infestation

coïncide avec le stade jeune de la plante (cas des semis tardifs). En ayant recours à la lutte chimique avec un insecticide efficace contre la cécidomyie, « le Furadan 5G » (Carbofuran), et à des lignées isogéniques pour la résistance ou la sensibilité à la mouche, les pertes de rendement du blé tendre ont été estimées à 42% et 36%, respectivement (Lhaloui et al. 1992b, Amri et al. 1992). Egalement, après un traitement insecticide, les pertes de rendement du blé dur causées par cet insecte ont été estimées à 32%

(Lhaloui et al. 1992b). Par la même méthode, les pertes moyennes de rendement causées à l'orge ont été estimées à 45 %.

Economiquement, la valeur des pertes dues à la cécidomyie dans les zones arides et semi-arides du Maroc à été estimée à plus de 200 millions de Dirhams chaque année. Ces pertes sont encore plus élevées sur l'ensemble du territoire national, puisque l'insecte se trouve dans toutes les zones céréalières. L'étude économique a aussi montré que l'investissement dans la recherche pour développer des variétés résistantes à ce ravageur génère un taux de rentabilité interne de 39 %, ce qui est considéré comme un taux très élevé (Azzam et al. 1997).



Dégâts sévères sur semis tardif de variété sensible (gauche) approchant la perte totale de rendement en comparaison avec un bon rendement pour une variété résistante (droite).



V. Moyens de lutte

Plusieurs moyens de lutte peuvent être préconisés contre la cécidomyie. Ils se résument en quatre grandes catégories : techniques culturales (date de semis, enfouissement des chaumes, incinération des chaumes et rotation des cultures), lutte chimique, lutte biologique, et lutte génétique.

Cependant après plusieurs études, seuls deux moyens se sont révélés être efficaces et pratiques au Maroc, la date de semis et la lutte génétique.

V1. La Date de Semis

L'ajustement de la date de semis est la technique culturale la plus adaptée à la lutte contre la mouche de Hesse. Il s'agit de permettre à la plante de dépasser son stade végétatif le plus sensible à une période où la population de l'insecte est encore faible. A l'inverse des recommandations de semis tardifs faites dans les pays à climats froids ou continentaux, comme les USA (Ratcliffe and Hatchett 1997), on préconise un semis de saison au Maroc, soit

environ deux semaines après les premières pluies significatives. Ces premières pluies déclenchent l'émergence des mouches adultes et, en l'absence d'hôtes favorables, les femelles vont voler et mourir sans pondre. Quelques adultes échappent à cette mort, et arrivent à produire une progéniture sur des céréales spontanées ou des cultures précoces. Cette progéniture demande plus de 40 jours pour compléter son développement et donner une nouvelle vague d'émergence d'adultes. Les semis pratiqués durant cette période ont le temps d'échapper à l'infestation, l'émergence des plantules a, en effet, lieu alors que la majorité des adultes est morte.

Les semis très précoces (à sec ou avant l'arrivée des premières pluies significatives) sont à déconseiller. Ils font que le stade plantule des cultures, avec 2 à 3 feuilles, coïncide avec l'émergence des mouches adultes issues de la diapause estivale. La culture sera alors fortement infestée, et, par conséquent, subira de lourds dégâts.

Les semis tardifs sont également très néfastes et complètement déconseillés. Ils font en effet coïncider les plantes de la culture avec l'émergence massive des mouches adultes de la deuxième génération, la plus nuisible car la plus dense. De plus, la cécidomyie ayant une préférence pour les plantes jeunes, les femelles vont choisir de pondre sur les cultures semées le plus tardivement. Cette génération peut infliger des dégâts susceptibles de causer la perte totale de la culture (Lhaloui 1986, Lhaloui et al. 1989).

Dans le cas du semis tardif, les différences de développement végétatif entre les plantes sont très liées à la nature de la résistance de la plante. La variété sensible est sévèrement attaquée par la cécidomyie, et à l'exception de quelques rares talles qui échappent à l'infestation, toutes sont rabougries et cessent de croître. Ces talles ne vont pas pouvoir donner d'épis et leur rendement sera nul, ce qui explique que les semis tardifs conduisent à des pertes variant entre 80 et 100%. Par contre, les variétés résistantes, semées dans les mêmes conditions, se comportent mieux. Elles sont infestées par la mouche, mais les larves meurent par l'effet antibiosis de la résistance de la plante. Elles continuent donc leur croissance normale et fourniront un bon rendement, toutefois plus faible pour les semis tardifs que pour les semis précoces, à cause de la plus faible quantité de précipitations reçues (Lhaloui 1986).

Ceci démontre qu'en cas de sécheresse et de semis tardif, la résistance variétale à la cécidomyie représente la meilleure technique que doivent utiliser les agriculteurs dans les zones arides et semi-arides où le ravageur est un facteur primordial de dépréciation du rendement des céréales. Seule une variété résistante peut valoriser le peu



d'eau disponible à la culture. Si, pour des raisons particulières, des variétés sensibles doivent être semées, il faut le faire assez précocement.

En général, nous préconisons que les semis du blé dans les

régions où le niveau d'infestation de la cécidomyie est élevé, se situent entre le 15 et le 30 novembre. Dépasser ces dates fera coïncider les jeunes plantes des cultures avec les vols de la deuxième génération de cécidomyie.



Comparaison entre variétés résistantes et sensibles en semis précoce (gauche) et semis tardif (droite) au stade végétatif.



Comparaison entre variétés résistantes et sensibles en semis précoce (gauche) et semis tardif (droite) à maturité.

V2. La résistance des céréales à la cécidomyie

La résistance génétique des plantes aux insectes a été largement utilisée pour limiter les dégâts causés aux cultures par plusieurs ravageurs dans le monde. Cette méthode consiste à amplifier les caractères de la plante hôte qui limitent le développement normal de l'insecte. De nouveaux gènes de résistance sont constamment identifiés et incorporés dans les variétés adaptées à différents milieux et à haut potentiel de rendement. Cette méthode présente plusieurs avantages:

- elle est économique pour l'agriculteur, comparativement à l'utilisation répétée de pesticides, car tout est incorporé dans la semence de la variété résistante;
- elle ne présente pas de danger de toxicité pour l'Homme et les autres animaux et elle est respectueuse de l'environnement;
- elle est harmonieuse avec les agents de lutte biologiques (ennemis naturels);
- elle est compatible avec les autres techniques culturales;
- et enfin, elle ne nécessite pas de matériel sophistiqué pour son application au champ.

V.2.a. Différents mécanismes de résistance

La résistance génétique se subdivise en trois grands mécanismes; l'antibiosis, l'antixenosis et la tolérance.

L'antibiosis. Dans ce cas, la plante ne permet pas le développement d'un organisme antagoniste. Pour la mouche de Hesse, ce mécanisme conduit à la mort du premier stade larvaire dès qu'il commence à se nourrir sur la



plante résistante. La plante ne devient pas rabougrie et garde une croissance normale, avec une couleur vert clair. Au microscope, on observe que la base des tiges des plantes résistantes porte des larves de premier stade mortes. Ceci confirme que l'antibiosis est le mécanisme de résistance.

L'antixenosis ou la non préférence. Dans ce cas, la plante possède des caractéristiques morphologiques ou chimiques qui font qu'elle n'est pas préférée par l'insecte antagoniste pour sa nourriture, son oviposition ou son habitat. Une plante non préférée par la cécidomyie est moins utilisée par les femelles comme site d'oviposition et subit moins de dégâts.

La tolérance. C'est la capacité pour une plante infestée par un organisme antagoniste de produire un rendement équivalent ou presque à celui de la même variété en l'absence d'infestation. L'insecte survit sur la plante et se développe normalement, tout en dépréciant peu la qualité et la quantité de la production. La plante est donc capable de compenser les pertes dues à l'insecte. C'est une caractéristique que possèdent les variétés d'orge marocaines qui sont dotées d'une grande capacité de tallage compensant les talles rabougries par l'attaque des larves.

V.2.b. Méthodes de tri pour l'identification de germoplasme résistant par antibiosis

Le tri du matériel génétique pour l'identification d'une résistance de type antibiosis se fait aussi bien sous serre ou dans des chambres de croissance qu'en plein champ. Le matériel génétique trié provient des collections de germoplasmes cultivés, de germoplasmes sauvages apparentés au blé et à l'orge et des pépinières générées par les améliorateurs. La méthodologie suivie est adaptée de celle utilisée par Cartwright et La Hue (1944).

Sous serre et dans des chambres de croissance, les lignées et accessions sont semées sur des plateaux standard en bois ou en plastique

(54 x 36 x 8 cm), à un taux d'une ligne par entrée, et 25 graines par ligne. Une ligne d'un témoin sensible et une autre d'un témoin résistant sont semées au milieu de chaque plateau. Le substrat utilisé est un mélange de 2/3 de sol et 1/3 de tourbe.

Quand les plantules arrivent au stade 1 à 2 feuilles, les plateaux sont couverts par des cages en tissu mousseline, et une centaine de mouches femelles nouvellement émergées et fécondées sont lâchées sur chaque plateau. Les femelles sont maintenues sur les plateaux pour pondre pendant 2 jours, puis les plateaux sont découverts. Trois semaines plus tard, les plantes sont retirées des plateaux et examinées pour déterminer leur réaction à l'infestation. Les plantes qui sont rabougries et ont une couleur vert foncé sont considérées comme sensibles et celles qui ont gardé une croissance normale et une couleur vert clair sont considérées comme résistantes. L'effet antibiosis de la résistance est par la suite confirmé sous la loupe par la présence de larves de premier



Test pour le tri de matériel génétique sous serre (gauche) et exemple de test sur plateau montrant des lignées résistantes sur les côtés et une sensible au milieu (droite)



stade mortes à la base des tiges. Les plantes ne portant pas de larves sont considérées comme ayant échappé à l'infestation (Lhaloui 1995).

En plein champ, le matériel est semé dans les stations expérimentales de Sidi El Aidi et Jemaa Shaim, considérées comme foyers permanents de la cécidomyie au Maroc. Les lignées sont semées en lignes jumelées de 1 mètre chacune, espacées de 30 cm s'il s'agit de la même lignée et

de 50 cm s'il s'agit de lignées différentes. Le semis est fait tardivement pour faire coïncider les plantules avec la 2ème génération de cécidomyie et permettre aux plantes d'avoir une infestation maximale. Le tri se fait d'abord visuellement pour différencier les plantes rabougries de celles qui ne le sont pas. Les plantes non rabougries sont ensuite examinées au laboratoire pour confirmer ou infirmer leur résistance.



Comparaison au champ entre lignées sensibles (gauche) et lignées résistantes (droite).



Test pour le tri de matériel génétique et la sélection pour la résistance à la cécidomyie en plein champ. La différence entre lignées sensibles et résistantes est très visible.

V.2.c. Variétés de blé résistantes à la cécidomyie au Maroc

La lutte génétique, à travers l'introduction de la résistance dans les variétés adaptées aux conditions climatiques et productives, est la méthode la plus efficace et économique pour lutter contre la cécidomyie. Aux USA, 31 gènes de résistance ont été identifiés, nommés et caractérisés (Ratcliffe et Hatchett 1997, Williams et al. 2003). Il a été montré que dix de ces gènes (H5, H11, H13, H14H15, H21, H22, H23, H25 et H26) confèrent une résistance aux populations marocaines de cécidomyie (El Bouhssini 1986, El Bouhssini et al. 1992). La plupart de ces gènes sont localisés sur les génomes A ou D (Tableau 5) (El Bouhssini et al. 1988, El Bouhssini et al. 1996b).

En ce qui concerne le blé tendre, la première variété résistante à la cécidomyie au Maroc et enregistrée au



catalogue officiel marocain est 'Saada'. Il s'agit d'un germoplasme de blé tendre de printemps contenant le gène H5 (SD8036), qui a été introduit des USA, testé pour sa performance au Maroc, et enregistré dans le catalogue officiel en 1989 (Jlibène 1992, El Bouhssini et al. 1994). Ensuite, une lignée provenant du programme d'amélioration génétique marocain a été sélectionnée comme tolérante à la cécidomyie, et a été enregistrée sous le nom de 'Massira'. Puis le gène H22 a été introgressé avec succès par les améliorateurs marocains dans les variétés marocaines de blé tendre, et une des lignées provenant de ces croisements a été inscrite au

catalogue officiel sous le nom 'Aguilal' (Amri 1989).

Une autre lignée de blé tendre, L222, sélectionnée d'une pépinière de blé tendre CIMMYT/ICARDA, a été identifiée comme conférant un niveau très élevé de résistance, tout en ayant de bonnes caractéristiques agronomiques et un haut potentiel de rendement. Cette lignée a été aussi inscrite au catalogue officiel sous le nom 'Arrihane' (Amri 1997). Ces deux dernières variétés sont maintenant disponibles pour les agriculteurs. Leur utilisation à grande échelle conduira à une forte augmentation de la production du blé tendre au Maroc.



Variété de blé tendre Arrihane

En ce qui concerne le blé dur, malgré le tri de milliers d'accessions au cours d'une longue période, seules 4 populations ont été identifiées comme résistantes chez cette culture (El Bouhssini et al. 1996c). Les améliorateurs ont alors décidé de transférer les gènes H5 et H11, localisés sur le génome A du blé tendre, dans le blé dur. Des croisements ont également été faits avec des accessions de l'espèce sauvage *Triticum araraticum*, qui ont été identifiées comme conférant une résistance, et les gènes responsables de cette résistance ont été transférés dans les nouvelles variétés de blé dur (Nsarellah et al. 1998, Nsarellah et al. 2000). Ces croisements ont fourni une source de résistance très efficace. Ainsi, en 2003, cinq variétés de blé dur résistantes à la cécidomyie et à haut potentiel de rendement ont été inscrites au catalogue officiel. Quatre d'entre elles portent les gènes dérivés de *T. araraticum* (Tableau 6).

L'adoption de variétés de blé dur résistantes à la cécidomyie, et à haut potentiel de rendement, augmentera la production marocaine de ce blé de 30% en moyenne, ce qui ne peut être que très positif pour l'économie marocaine.



Variété de blé dur résistante (au fond)
et sensible (en bas) à la cécidomyie



Lignées sœurs de blé dur résistantes (au fond et à gauche) et sensible (à droite) à la cécidomyie

Tableau 5: Gènes de résistance identifiés comme efficaces contre la mouche de Hesse au Maroc (d'après El Bouhssini et al.1996b)

Gènes	Sources	Location sur le chromosome
<i>H5</i>	<i>T. aestivum</i>	1A
<i>H11</i>	<i>T. turgidum</i>	1A
<i>H13</i>	<i>A. Squarrosa</i>	6DL
<i>H14H15</i>	<i>T. turgidum</i>	5A
<i>H21</i>	<i>S. cereale</i>	2BS.2RL
<i>H22</i>	<i>A. squarrosa</i>	1D
<i>H23</i>	<i>A. squarrosa</i>	6D
<i>H25</i>	<i>S. cereale</i>	4AS.4AL-6RL.4AL
<i>H26</i>	<i>A. squarrosa</i>	4D

Tableau 6: Cultivars et lignées portant une résistance à la mouche de Hesse au Maroc (Nsarellah et al. sous presse).

Lignée/cultivar	Source de la résistance	Mécanisme de résistance
Saada	<i>T. aestivum</i>	Antibiosis
Massira	<i>T. aestivum</i>	Tolérance
Arrihane	<i>T. aestivum</i>	Antibiosis
Aguilal	<i>T. aestivum</i>	Antibiosis
Marwane	<i>T. araraticum</i>	Antibiosis
IRDEN	<i>T. araraticum</i>	Antibiosis
Chaoui	<i>T. araraticum</i>	Antibiosis
Nassira	<i>T. araraticum</i>	Antibiosis
Amria	<i>T. durum (H5)</i>	Antibiosis



Performance des variétés de blé tendre résistantes Aguilal (gauche) et Arrihane (droite)



V.2.d. Germoplasme sauvage apparenté au blé possédant la résistance à la mouche de Hesse au Maroc

Plusieurs sources de résistance ont en outre été identifiées dans le germoplasme sauvage apparenté au blé. Ces accessions contenant une résistance sont en majorité des *Aegilops*. Elles permettent d'élargir la base génétique de la résistance du germoplasme cultivé (El Bouhssini et al. 1998, Lhaloui et al. 1998, Lhaloui et al. 2000a).

Ainsi, des hybridations interspécifiques et intergénériques entre le blé tendre ou le blé dur et les espèces sauvages résistantes, de groupe génétique primaire et secondaire apparentés aux blés (génomes A, D, G, U et M), ont été réalisés. Ces croisements ont pour objectif le transfert de ces nouvelles sources de résistance au germoplasme cultivé. A travers différents niveaux d'introggression, ces nouvelles sources ont intégré les blocs de croisement de blé tendre (El Haddoury 2000) et de blé dur (El Haddoury et al. sous presse).

En outre, le tri au Maroc d'une population de lignées synthétiques provenant de croisements entre *Aegilops squarrosa* et le blé tendre au CIMMYT, a aussi révélé un grand nombre de lignées résistantes à la population de la cécidomyie marocaine (Lhaloui et al. 1997b).

V.2.e. Résistance chez l'orge

La confusion qui a régné autour de l'identification de l'espèce de cécidomyie à galle de l'orge, la tolérance que possèdent les variétés locales d'orge au Maroc et l'absence de l'espèce de cécidomyie à galle aux USA où se trouvent les grands programmes de recherche sur la cécidomyie, ont fait que les opérations de sélection de sources de résistance contre cet insecte n'ont commencé qu'à partir de 1992.

Le tri de nombreuses accessions de germoplasme sauvage et de nombreux plans d'orge des pépinières internationales a conduit à l'identification de trois accessions d'orges sauvages des deux espèces *Hordeum marinum* et *H. bulbosum*, résistantes à la cécidomyie de l'orge par le mécanisme d'antibiosis. Il s'agit de la première identification d'une source de résistance de ce genre chez cette plante (Lhaloui 1995). Par contre, aucune source de résistance n'a été identifiée chez le germoplasme cultivé.

Du fait de la rareté de l'antibiosis pour la cécidomyie à galle de l'orge, c'est la recherche d'une résistance du type tolérance qui a été privilégiée. Ainsi, 165 lignées possédant un niveau acceptable de tolérance ont été sélectionnées à partir d'une pépinière internationale contenant plus de 6000 lignées d'orge. Ce germoplasme sélectionné constitue la première pépinière de tolérance à la cécidomyie de l'orge (Lhaloui et al. 2000b).

Un autre axe de résistance a toutefois été exploré : la non préférence ou antixenosis. Ceci a permis d'identifier plusieurs accessions d'orge sauvages possédant l'antixenosis contre la cécidomyie de l'orge (Lhaloui 1995).

Les variétés et cultivars d'orge possédant une pilosité dense sur les feuilles et/ou les tiges rentrent dans cette catégorie. Les poils empêchent en effet les femelles de déposer leurs oeufs entre les nervures des feuilles. Les femelles quittent donc la plante et cherchent un autre hôte pour pondre. Contrariées, elles peuvent aussi pondre sur les poils. Dans ce cas, les œufs soit se dessèchent et ne donnent pas de larves, soit éclosent et donnent des larves qui n'arrivent pas à migrer jusqu'à un point de fixation à la base de la tige et finiront par périr (Lhaloui 1995). La pilosité étant un caractère polygénique, le transfert de ce genre de résistance dans les variétés cultivées n'est cependant pas facile.

D'autres sources de résistance ont été découvertes dans des cultivars d'orge cultivés dans divers pays. Ainsi, trois variétés d'orge provenant de Nouvelle Zélande (Fleet, Gwylan et WPBS), et deux provenant d'Égypte (Amir et Abusir) ont été caractérisées comme résistantes à la mouche de Hesse mais sensibles à la cécidomyie de l'orge au Maroc (Lhaloui et al. 1996). Leur réaction est du type antibiosis. Un certain nombre de sources de résistance à la mouche de Hesse sur orge a aussi été identifié dans du germoplasme cultivé et sauvage aux USA (Jones 1939, Hill et al. 1952, Olembo et al. 1966).



Lignée d'orge sensible (gauche) et tolérante (droite)
à la cécidomyie à galle de l'orge

V.2.f. Biotypes

Un biotype est un groupe d'individus au sein d'une population d'un insecte donné, capable d'utiliser et de se développer sur une variété résistante que les autres individus de la même population ne peuvent pas utiliser. Ce groupe d'individus peut ainsi surmonter la résistance.

La virulence de la Mouche de Hesse est liée à la résistance de son hôte par une relation gène pour gène. La composition de la fréquence des biotypes dans une population donnée et leur

virulence peuvent donc changer après le lancement de nouvelles variétés résistantes. La variété résistante ne crée pas le biotype, mais favorise sa sélection. En effet, le gène introgressé dans la variété confère une résistance à la majorité des individus d'une population de mouches donnée, sauf à quelques rares individus virulents qui existent dans la nature. La présence de cette virulence dans la population s'explique soit par des mutations soit par des croisements avec des individus d'une autre population. Les individus virulents peuvent

survivre sur les plantes portant un gène de résistance spécifique et continuer à se multiplier, jusqu'à atteindre un pourcentage important de la population et commencer à causer des dégâts notables. En ce moment, la variété aura perdu son caractère résistant et sera reclassée parmi les variétés sensibles.

La rapidité avec laquelle un biotype virulent se développe dépend de trois facteurs majeurs. Le premier est l'étendue sur laquelle une variété portant un gène de résistance est cultivée, plus celle-ci occupe de terrain, plus le gène est exposé. Le deuxième est la période pendant laquelle cette variété est cultivée, plus elle dure plus elle est exposée. Le troisième facteur est le nombre de générations du ravageur par année, en effet plus le ravageur se multiplie, plus les individus portant des gènes de virulence se multiplient et dominant.

Les biotypes sont surtout liés à l'antibiosis. La tolérance ne tue pas l'insecte et par conséquent n'exerce pas de pression de sélection sur les populations. De même, l'antixenosis ou la non préférence est moins liée au développement des biotypes.

L'étude de la variabilité génétique des populations de mouches dans trois régions du Maroc a montré la présence de différences dans la composition génotypique des individus à l'intérieur d'une même population d'une région donnée, et entre populations de régions différentes (Naber et al. 2000, Naber et al. 2003). Ceci montre qu'il est nécessaire de continuer à rechercher de nouveaux gènes de résistance. Une étude plus extensive de la variabilité génétique au sein des populations de mouches et entre les populations de la plupart des régions céréalières du Maroc est en cours de réalisation.



VI. Autres moyens de lutte

VI.1. Enfouissement des chaumes

Cette technique consiste à pratiquer un labour profond pour enfouir les chaumes contenant des pupes (flaxseeds) en diapause estivale. Elle vise la réduction des effectifs des adultes issus de cette génération (Ouchaou 1972). Les adultes de cécidomyie qui émergent des pupes à la tombée des premières pluies, remontent en effet avec difficulté à la surface du sol. Dans les conditions arides et semi- arides du Maroc, où la cécidomyie est un ravageur notable, cette méthode est toutefois contradictoire avec les recommandations de pratiquer un minimum de labour pour mieux conserver l'eau dans le sol. Ceci est également contradictoire avec l'utilisation, essentielle dans ces zones, des chaumes comme source d'alimentation du bétail durant l'été.

VI.2. Incinération des chaumes

Cette technique consiste à brûler les chaumes après la moisson pour éliminer les pupes qui restent cachées à la base des tiges. Elle vise aussi la réduction des effectifs de la population de cécidomyie en diapause estivale. Cependant, cette technique présente l'inconvénient de détruire les micro-organismes du sol, qui ont un rôle très important dans la nitrification de l'azote du sol (Ouchaou 1972). En outre, les éleveurs des zones arides ou semi-arides ont besoin des chaumes pour leur bétail.

VI.3. Rotation des cultures et fertilisation azotée

L'alternance des cultures, de manière à ne pas semer des céréales en permanence, réduit les populations de la cécidomyie. Mais pour accroître son efficacité, l'opération doit être menée à grande échelle, au niveau d'une région par exemple, afin d'éviter que des adultes ne proviennent des champs voisins.

La rotation permet aussi d'augmenter les réserves du sol en éléments nutritifs, ce qui donne une meilleure vigueur à la plante et par la suite une

tolérance plus élevée. Il a ainsi été montré que l'apport d'azote, en particulier, permet une augmentation de tallage et le remplacement de talles tuées par la mouche (Ryan et al. 1998, Abdel Monem et al. 1990).

VI.4. Lutte Chimique

Une large gamme d'insecticides a été testée contre la cécidomyie, mais très peu de produits ont montré un degré notable d'efficacité contre ce ravageur (Ait El Mekki 1986). L'exception concerne le Furadan 5G (Carbofuran), qui est très efficace dans cette lutte. Son application localisée, à la dose de 1,12 kg ma/ha en ligne, au moment du semis, a donné un taux élevé de mortalité du premier stade larvaire des cécidomyies, et par la suite une bonne protection des cultures de blé et d'orge (Lhaloui et al. 1992b). L'augmentation du rendement consécutive à cette application a été respectivement de 29 et 24% pour le blé tendre et le blé dur.

Cependant, les possibilités d'adoption de cette technologie par les agriculteurs sont faibles en raison du coût élevé de l'opération (prix élevé de l'insecticide et nécessité de disposer d'un semoir combiné pour enfouir le produit avec la semence). De plus, cet insecticide n'est pas efficace en conditions de sécheresse où il ne peut pas être dissout et séparé des granules, pour être adsorbé par les racines et transporté par la sève au niveau des tissus de la plante sur lesquels les larves se nourrissent. Les insecticides ne sont par ailleurs pas compatibles avec la préservation de l'environnement.



VI.5. Lutte biologique

Au Maroc, une dizaine d'espèces d'hyménoptères parasitoïdes a été identifiée. Les plus importantes sont *Platygaster hiemalis* Fabres, *Polygaster minutrus* et *Eupelmus microzonus* Forst (Anonyme 1939, Jourdan 1938b). Cependant, l'action de ces parasitoïdes sur les populations de cécidomyie est faible, ne dépassant pas 16% (Lhaloui 1986).

Un autre type de lutte biologique, par les extraits et les huiles essentielles des plantes aromatiques et médicinales, pourrait être utilisé. Récemment, un groupe d'huiles essentielles a en effet été identifié efficace contre les adultes et un autre groupe efficace contre les œufs de la mouche de Hesse (Lamiri et al. 2001). C'est à partir du test de 19 huiles essentielles provenant en majorité d'espèces de plantes aromatiques de la famille des Labiatae que cette découverte a été effectuée. Les huiles extraites des espèces *Mentha pulegium*, *Origanum compactum* et *Origanum majorana* se sont révélées être les plus toxiques pour les adultes, alors que celles provenant de *Ammi-visnaga*, *Pistachia lentiscus*, *O. compactum* et *M. pulegium* se sont révélées être les plus efficaces contre les œufs. L'identification de ces biocides ouvre de nouveaux horizons pour la lutte contre la cécidomyie au Maroc.

Conclusion

Beaucoup de progrès ont été réalisés dans la compréhension de la biologie et la dynamique des populations des cécidomyies au Maroc. Des progrès considérables ont également été faits en matière d'amélioration génétique et de création de variétés résistantes à la cécidomyie chez le blé. Les variétés résistantes qui ont été inscrites au catalogue officiel vont faire gagner des millions de Dirhams à l'économie marocaine, et améliorer le niveau de vie des agriculteurs une fois utilisées à grande échelle. De nouvelles variétés continueront à être créées au cours des prochaines années. L'utilisation de ces variétés résistantes à large échelle par les agriculteurs nécessite des efforts de l'ensemble des partenaires (producteurs, développeurs et chercheurs).

Cependant, pour faire face au développement de nouveau biotypes virulents de mouches, les efforts doivent non seulement porter sur la création variétale à partir des gènes connus, mais aussi sur l'identification des nouveaux gènes de résistance. Une des possibilités pour augmenter la durabilité de la résistance serait l'incorporation de plusieurs gènes de résistance dans une même variété de céréales. Ceci pourrait être facilité par l'utilisation de marqueurs génétiques.



Références bibliographiques

Anonyme, 1934. La cécidomyie des céréales (*M. destructor* (Say)).
Diptera: Cecidomyiidae. Service de la défense des végétaux. Memento
No. 8, Rabat (Maroc). 7p.

Anonyme, 1939. La cécidomyie destructive, *Mayetiola destructor* (say)
(Diptera: Cecidomyiidae). Service de la défense des végétaux. Memento
No. 8, Rabat (Maroc). 10p.

Ait El Mekki, A. 1986. Essai de lutte chimique contre la cécidomyie
(*Mayetiola destructor* (Say)) sur blé. Mémoire pour l'obtention du
diplôme d'ingénieur d'application. ENA-Meknès.

Alfaro, A. 1955. *Mayetiola destructor* (Say) y *Mayetiola mimeuri*
(Mesnil), en Zaragoza. Boletín de Patología Vegetal y Entomología
Agrícola 21: 85-116.

Amri, A. 1989. Inheritance and expression of resistance to Hessian fly
(*Mayetiola destructor* Say) in wheat. PhD thesis. Kansas State
University, Manhattan, KS. 122p.

Amri, A. 1997. Rapport d'activité du programme céréales d'automne.
INRA-Rabat (Maroc).

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

Abdel Monem, M., A. Azzaoui, M. El Gharous, J. Ryan, and P.
Soltanpour. 1990. Demonstrating fertilizer response and Hessian fly
resistance with wheat in Morocco. *Journal of Agronomic Education*. 19:
77-80.

Azzam, A., S. Azzam, S. Lhaloui, A. Amri, M. El Bouhssini, and M. Moussaoui. 1997. Economic returns to research in Hessian fly resistant bread wheat varieties in Morocco. *J. Econ. Entomol.* 90: 1-5.

Balachowsky, A. et L. Mesnil. 1935. Les insectes nuisibles aux plantes cultivées. Busson, Paris. Vol. 1, XVI, 1137p.

Cartwright, W. B. and C. LaHue. 1944. Testing wheats in the greenhouse for Hessian fly resistance. *J. Econ. Entomol.* 37: 385-387.

Coutin, R., Y. Durand, and J.P. Moreau. 1974. Cécidomyie du blé et de l'orge au Maroc. *Comptes Rendus des Quatrièmes Journées de Phytologie et de Phytopharmacie Circum-méditerranéennes 1974*: 287- 290.

Durand, Y. 1967. Observations sur le cycle évolutif des *Mayetiola* vivant sur orge et blé au Maroc. *Al Awamia* 24: 1-15.

El Bouhssini, M. 1986. A Study of Hessian fly, *Mayetiola destructor* (Say) biotypes and resistance in wheats in Morocco. M. S. thesis, Kansas State Univ., Manhattan, KS. 89p.

El Bouhssini, M., A. Amri, and J. H. Hatchett. 1988. Wheat genes conditioning resistance to the Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) in Morocco. *J. Econ. Entomol.* 81: 709-712.

El Bouhssini, M., A. Amri, J.H. Hatchett, and S. Lhaloui. 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., S. Lhaloui, J. Hatchett, A. Amri, J. Jlibene, N. Nsarellah, M. Nachitt, M. Mergoum, and O. Benlhabib. 1994. Genetic control of cereal insects in the semi-arid and arid regions of Morocco. P: 469-475. In Proceedings de la conférence sur les "Acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides", Rabat (Maroc), 24-27 mai 1994.

El Bouhssini, M., J.H. Hatchett, and S. Lhaloui. 1996a. Larval survival on wheat plants carrying resistance genes to Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) in Morocco. Arab J. Plant Prot. 13(2): 103-105.

El Bouhssini, M., S. Lhaloui, A. Amri, M. Jlibene, J. H. Hatchett, N. Nsarellah, and M. Nachitt. 1996b. Wheat genetic control of Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) in Morocco. Field Crops Research 45: 111-114.

El Bouhssini, M., N. Nsarellah, M.M. Nachitt, A. Amri, O. Benlhabib and S. Lhaloui. 1996c. Durum wheat resistance to Hessian fly in Morocco: status and perspectives. Abstract: second International Crop Science Congress, Nov. 17-24, New Delhi (India).

El Bouhssini, M., O. Benlhabib, M.M. Nachit, A. Houari, A. Bentika, N. Nsarellah and S. Lhaloui. 1998. Identification in *Aegilops* species of resistant sources to Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) in Morocco. Genetic Resources and Crop Evolution 45: 343-345.

El Haddoury 2000. Utilisation de l'hybridation interspécifique et de l'haplodiploidisation en amélioration génétique des céréales à paille. Thèse d'Etat. Université Mohamed V. Faculté des Sciences, Rabat (Maroc). 137 p.

El Haddoury, J., A. Amri, S. Lhaloui, and N. Nsarellah. 2005. Use of interspecific hybridization for the transfer of Hessian fly resistance from

Triticum araraticum to durum wheat. Al Awamia (Sous presse).

Ertel, M. 1975. Untersuchungen zur Larvalsystematik der Gattung *Mayetiola* (Cecidomyiidae: Diptera). Stuttg. Beitr. Naturk. Ser. 267: 1-64.

Gagné R. J., and J. H. Hatchett. 1989. Instars of the Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 82: 73-79.

Gagné, R.J., J.H. Hatchett, S. Lhaloui, and M. El Bouhssini. 1991. The Hessian fly and the barley Stem Gall midge, two different species of *Mayetiola* (Diptera: Cecidomyiidae) in Morocco. Ann. Entomol. Soc. Am. 84(4): 436-443.

Hatchett, J. H. 1986. Biology and genetics of the Hessian fly and resistance in wheats in the United States. Proceedings of the international Wheat Conference, Rabat, Morocco.

Hatchett, J.H., T. J. Martin, and R.W. Livers. 1981. Expression and inheritance of resistance to Hessian fly in synthetic hexaploid wheats derived from *Triticum tauschii* (Coss.) Schmal. Crop Sci. 21: 731-734.

Hill, C.C., W.B. Cartwright, and J.A. Wiebe. 1952. Barley varieties resistant to the Hessian fly. Agron. J. 44: 4-5.

Hudault, E., et M. Jourdan. 1954. Essai de fécondation croisée de la cécidomyie de blé et de la cécidomyie de l'orge. Comptes Rendus de Séances Mensuelles. Bulletin de la Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc 1954: 106-108.



- Jlibene, M. 1992. Agronomic evaluation of the Hessian fly resistant wheat cultivar 'saada' in Morocco. *Al Awamia* 77: 147-159.
- Jones, E.T. 1939. Grasses of the tribe *Hordea* as hosts of the Hessian fly. *J. Econ. Entomol.* 32: 505-510.
- Jourdan, M.L. 1938a. Remarques sur les variations de certains organes de *Mayetiola destructor* Say. *Encyclopédie Entomologique, Série B, Diptera.* 9:139-149, Pls. I-III.
- Jourdan, M.L. 1938b. Les insectes parasites de la cécidomyie destructive au Maroc. *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles au Maroc* 18: 53.
- Kieffer, J.J. 1909. Contributions à la connaissance des insectes gallicoles. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Metz* 3: 2-9.
- Lafever, H.N., O. Sosa, Jr., R.L. Gallun, G.E. Foster, and R.C. Kuhn. 1980. Survey monitors Hessian fly population in Ohio wheat. *Ohio Report on Research and Development; Agriculture, Home Economics, Natural Resources* 64 (4): 51-53
- Lamiri, A., S. Lhaloui, B. Benjilali, and M. Berrada. 2001. Insecticidal effects of essential oils against Hessian fly, *Mayetiola destructor* (Say). *Field Crops Research* 71: 9-15.
- Lhaloui, S. 1986. Effects of plant resistance, insecticide treatment, and planting dates on Hessian fly infestations in wheat in Morocco. M. S. Thesis, University of Nebraska, Lincoln, NE, 126p.
- Lhaloui, S. 1995. Biology, host preference, host Suitability, and plant resistance studies of the Barley Stem Gall Midge and the Hessian Fly (Diptera: Cecidomyiidae) in Morocco. PhD Dissertation. Kansas State University, Manhattan KS, USA. 184 p.

Lhaloui, S., M. El Bouhssini, et D.L. Keith. 1989. Cécidomyies: Quelle date de semis choisir pour éviter une infestation économique. Internal Research Report. Centre Aridoculture, Morocco.

Lhaloui, S., L. Buschman, M. El Bouhssini, A. Amri, J.H. Hatchett, D.Keith, K. Starks, and K. El Houssaini. 1992a. 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: 21-53.

Lhaloui, S., L. Buschman, M. El Bouhssini, K. Starks, D. Keith, and K. El Houssaini. 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.

Lhaloui, S., J.H. Hatchett, and G.E. Wilde. 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(2): 562-567.

Lhaloui, S., A. Amri, M. El Bouhssini, et A. Bendidi. 1997a. Surveillance des insectes nuisibles aux céréales dans les zones de montagnes marocaines. Rapport d'activité du Centre Aridoculture. PP: 165-170.

Lhaloui, S., A. Amri, M. El Bouhssini, et A. Bendidi. 1997b. Tri d'une population de blé tendre synthétique du CMMYT pour la résistance à la cécidomyie au Maroc. Rapport d'activité du Centre Aridoculture. PP: 157-164.



Lhaloui, S., M. El Bouhssini, M. M. Nachitt, N. Nsarellah, and A. Amri. 1998. New sources of resistance to Hessian fly in wheat in Morocco.

Proceedings of the 9th International Wheat Genetics Symposium, August 2 - 7th 1998, Univ. of Saskatoon. Saskatoon, Saskatchewan (Canada). Volume 3: 287-289.

Lhaloui, S., M. El Bouhssini, N. Nsarellah, M.M. Nachitt, and A. Amri. 2000a. Biotic stress limiting durum wheat production in Morocco, Hessian fly and the Russian wheat aphid: surveys, loss assessment, and identification of sources of resistance. Options Méditerranéennes, Série A, Numéro 40: 373-379.

Lhaloui, S., M. El Bouhssini, S. Ceccarelli, S. Grando, and A. Amri. 2000b. Major insect pests of barley in Morocco: importance and sources of resistance. Proceedings of the VIII International Barley Genetic Symposium. October 22-27, 2000, Adelaide (Australia). Volume I-Invited Papers: 75-77.

Lhaloui, S., M. El Bouhssini, and A. Amri. 2001. The Hessian fly in Morocco: surveys, loss assessment, and genetic resistance in bread wheat. Bulletin of the International Organization of Biological Control/ WPRS 24 (6): 101-108.

McKay, P.A., and J. H. Hatchett. 1984. Mating behavior and evidence of a female sex pheromone in the Hessian fly, *Mayetiola destructor* (Say) (Diptera: Cecidomyiidae). Ann. Entomol. Soc. Amer. 77: 616-620.

Mesnil, L. 1934. Note préliminaire sur un nouveau parasite des céréales, *Phytophaga mimeuri* (Mesnil). Bull. Société Entomologique de France 17: 245-247.

Metcalf, C.M., W. P. Flint, and R. L. Metcalf. 1962. Destructive and useful insects: their habits and control. McGraw-Hill Company Inc., N. Y. 4th edition. 1087 pp.

Miller, R. H., A. Kamel, S. Lhaloui, and M. El Bouhssini. 1989. Survey of Hessian fly in Northern Tunisia. *Rachis* 8: 27-28

Morrill, W. L. 1982. Hessian fly: host selection and behavior during oviposition, winter biology, and parasitoids. *J. Georgia Entomol. Soc.* 17: 156-167.

Naber, N., M. El Bouhssini, M. Labhilili, S.M. Udupa, M.M. Nachit, M. Baum, S. Lhaloui, A. Benslimane, and 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

Naber, N., M. El Bouhssini, and S. Lhaloui. 2003. Biotypes of Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae) in Morocco. *Journal of Applied Entomology* 127: 174-176.

Nsarellah, N., M.M. Nachitt, S. Lhaloui, M. El Bouhssini, and A. Amri. 1998. Introgression of Hessian fly resistance into durum wheat in Morocco. *Proceedings of the 9th International Wheat Genetics Symposium, August 2 - 7th 1998, Univ. of Saskatoon. Saskatoon, Saskatchewan (Canada). Volume 3: 303-304.*

Nsarellah, N., M.M. Nachitt, and S. Lhaloui. 2000. Breeding durum wheat for biotic stress in the Mediterranean region. *Options Méditerranéennes, Série A: Numéro 40: 341-347.*

Nsarellah N., S. Lhaloui, M. El Bouhssini, A. Amri and M.M. Nachitt. The genetic base for resistance to insect pests in durum wheat. *In Durum wheat genetic improvement. CIHEAM, Spain. Sous Presse.*



Olembo, J.R., F.L. Patterson, and R.L. Gallun. 1966. Genetic analysis of the resistance to *Mayetiola destructor* (Say) in *Hordeum vulgare* L. Crop Sci. 6: 563-566.

Ouchaou, L. 1972. Les Cécidomyies des céréales. Cahiers de la Recherche Agronomique. 31: 65-68.

Ratcliffe, R.H. and J. H. Hatchett. 1997. Biology and genetics of the Hessian fly and resistance in wheat. New Developments in Entomology, 1997: 47-56.

Roberti, D. 1953. Contributo alla conoscenza della specie italiane di *Mayetiola* (Diptera: Cecidomyiidae). Bollettino del Laboratorio Entomologia Agraria "Filippo Silvestri" di Portici 12: 98-153.

Ryan, J., M. Abdel Monem, J.P. Shroyer, M. El Bouhssini, and M.M. Nachit. 1998. Potential for nitrogen fertilization and Hessian fly resistance to improve Morocco's dryland wheat yields. European Journal of Agronomy 8: 153-159.

Williams, C.E., C.C. Collier, N. Sardesai, H.W. Ohm, and S.E. Cambron. 2003. Phenotypic assessment and mapped markers for *H31*, a new wheat gene conferring resistance to Hessian fly (Diptera: Cecidomyiidae). Purdue News. Septembre 2003.

