

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université El-Hadj Lakhdar - Batna

Faculté des Sciences

Département d'Agronomie

MEMOIRE

Pour l'Obtention de Diplôme de Magister en Sciences Agronomiques

Option: *Entomologie Agricole et Forestière*

Présenté par : LEBBAL Salim

Thème:

**Contribution à l'étude de la résistance naturelle de
la fève au puceron noir de la luzerne *Aphis
craccivora* (Homoptera : Aphididae)**

Le jury est composé de:

OUJJEHIIH B.	Prof. Université de Batna	Président
LAAMARI M.	Prof. Université de Batna	Rapporteur
OUELD EL HADJ M. D.	Prof. Université d'Ouargla	Examineur
BOUNECHADA M.	M. C. Université de Sétif	Examineur

Année 2010

Remerciements

Mes remerciements sont exprimés à mon encadreur *Laamari M.*, professeur à l'université de Batna, pour la documentation qu'il m'a donnée et son aide pour réaliser ce travail.

Je remercie encore le professeur à l'université de Batna *Oudjehih B.* pour son acceptation de présider le jury.

Mes remerciements sont exprimés ainsi à *Oueld El Hadj M. D.*, professeur à l'université d'Ouargla, et *Bounechada M.*, maître de conférence à l'université de Sétif, tous pour leur acceptation d'évaluer ce document.

Je remercie aussi ma famille, notamment mes parents, et mes collègues, particulièrement *Mehdaoui A.* et *Meradsi F.*, pour leurs aides et leurs encouragements.

Sommaire

- Introduction	1
I- Synthèse bibliographique sur la résistance des plantes et sur <i>Aphis craccivora</i>	5
II- Partie expérimentale	15
II.1- Matériels et méthodes	15
2.1.1- Matériel végétal	15
2.1.2- Matériel animal	16
2.1.3- Méthodes expérimentales	16
2.1.3.1- Caractérisation du matériel végétal	16
2.1.3.2- Evaluation de la résistance en plein champ	18
2.1.3.3- Evaluation de la résistance sous abri serre	20
2.1.3.3.1- Evaluation de la résistance par antixénose	20
2.1.3.3.2- Evaluation de la résistance par antibiose	24
2.1.3.3.3- Evaluation de la résistance par tolérance	28
2.1.3.4- Analyse statistique	32
II.2- Résultats	33
2.2.1- Evaluation de la résistance en plein champ	33
2.2.2- Evaluation de la résistance sous serre	37
2.2.2.1- Antixénose	37
2.2.2.2- Antibiose	40
2.2.2.3- Tolérance	41
II.3- Discussions	44
2.3.1- Evaluation de la résistance en plein champ	44
2.3.2- Etude des mécanismes de résistance sous serre	47
2.3.2.1- Antixénose	47
2.3.2.2- Antibiose	51
2.3.2.3- Tolérance	55
- Conclusion	57
- Références bibliographiques	60

Introduction

En Algérie, la fève *Vicia faba* L. constitue la plus importante culture parmi les légumineuses à grosses graines tant au niveau superficie, qui a été estimée à environ 45000 ha au début des années 1990, et au niveau de la production. Sa culture est pratiquée essentiellement au niveau des plaines côtières et de l'intérieur et dans les zones sahariennes. En Algérie, la fève est retenue surtout pour la consommation humaine sous forme de gousses fraîches, ou en grains secs. En cas de fortes productions, l'excédent en grains secs peut être incorporé dans l'alimentation du bétail (Maatougui, 1996).

D'après le même auteur, la fève en Algérie est exposée à des contraintes d'ordre biotiques, notamment les mauvaises herbes, les maladies cryptogamiques et virales et enfin les insectes.

Les aphides sont des insectes suceurs des plantes (Dixon, 1977), ils s'alimentent le plus souvent de la sève. Ils sucent les nutriments des plantes à partir du phloème, des bourgeons et des feuilles développés (Auclair, 1963 cité par Takemura *et al.*, 2006). Les femelles d'au moins quelques générations sont parthénogénétiques et vivipares. Le polymorphisme est une caractéristique des aphides, les pucerons asexués de certaines espèces peuvent posséder des ailes (ailés) ou non (aptères) (Dixon, 1977). Les aphides sont plurivoltins et présentent donc plus de deux générations par an. Ils possèdent un système buccal de type piqueur-suceur. Mandibules et maxilles ont la forme de stylets accolés en faisceau sur leur longueur. Les stylets permettent aux pucerons d'effectuer des piqûres dans les plantes et d'atteindre les faisceaux cribro-vasculaires du phloème, transporteurs de la sève élaborée (aliment quasi-exclusif des pucerons). Ainsi, ils sont paurométaboles, leurs différents stades larvaires ressemblent aux adultes (mis à part l'absence d'ailes développées pour les futurs ailés) ; ils ont le même mode de vie, se nourrissent de la même manière et font les mêmes types de dégâts (Sauvion, 1995).

Quoique certaines espèces ravageuses d'importance agronomique sont considérées comme polyphages, puisqu'elles infestent une large gamme de cultures,

d'autres sont oligophages et se nourrissent d'un nombre d'hôtes appartient à une seule famille (Takemura *et al.*, 2006).

Les aphides peuvent provoquer des pertes directes sur la plante résultant de leur alimentation à partir de la sève, ou des pertes indirectes suite à une transmission des phytovirus (Perera *et al.*, 2005).

Les pucerons peuvent influencer directement la productivité des fèves lorsque les infestations sont très sévères (Maatougui, 1996) ou transmettre des virus vers les plantes de fève, tels que bean yellow mosaic virus (BYMV) et bean leaf roll virus (BLRV) existés en Algérie (Offroukh et Aggad, 1996).

D'après Weigand *et al.* (1991), dans les pays méditerranéens la fève est attaquée principalement par *Aphis fabae* et *A. craccivora* et occasionnellement par *Acyrtosiphon pisum* et *Myzus persicae*. D'après Klingauf (1982), les deux premières espèces montrent des préférences climatiques différentes. Dans les régions froides c'est *Aphis fabae* qui domine, alors que dans les régions tempérées d'Europe et d'Asie (Jordanie, Syrie) les deux espèces se présentent parfois dans des colonies mixtes. Sous les climats chauds et secs (Bahrain, Oman) *Aphis craccivora* devient dominant. El Heneidy *et al.* (1998) mentionnent qu'en Egypte *Aphis craccivora* est l'espèce dominante sur la fève dans la plupart des régions où cette plante est cultivée. En Algérie, Mouhouche (1997) signale que la fève est attaquée principalement par *Aphis fabae*. Tandis que Laamari (2004), a mentionné que l'espèce *Aphis craccivora* est la mieux représentée sur la fève dans le sud algérien, tandis qu'au nord c'est plutôt *Aphis fabae* qui est le plus dominant. Le puceron noir de la luzerne *Aphis craccivora* ou également cowpea aphid est parmi les pucerons les plus nuisibles à la fève en Algérie (Laamari, 2004).

Ce puceron préfère vivre sur les Fabaceae, et il peut s'attaquer également à d'autres plantes appartenant à 19 familles botaniques différentes. D'après Blackman et Eastop (2007), le puceron noir de la luzerne peut transmettre environ 30 phytovirus sur les différentes cultures.

Les applications chimiques systématiques ont conduit à des niveaux de

populations qui sont difficiles à traiter, à cause soit de l'élimination des prédateurs et des parasitoïdes, soit de l'apparition de la résistance au sein des populations d'aphides contre la majorité des familles d'insecticides (Devonshire et Moores, 1982 cités par Sauge *et al.*, 1998). Georghiou a mentionné dans une publication datée en 1981 (cité par Sauvion, 1995) que 400 arthropodes manifestant une résistance à une ou plusieurs classes d'insecticides, dont 18 espèces de pucerons. Ainsi, les applications de certains produits chimiques impliquent un coût élevé (produit, équipement, main-d'œuvre, énergie), une pollution chimique et donc des conséquences sur les insectes pollinisateurs (Rat-Morris, 1990).

Ces impacts de la lutte chimique ont accentué l'importance des autres méthodes de lutte, telles que la lutte biologique et la lutte intégrée.

La résistance naturelle de la plante hôte à ses bioagresseurs est une méthode de lutte qui possède plusieurs avantages d'ordre économique et écologiques (El-Defrawi *et al.*, 1991). Elle permet de réduire le nombre de traitements phytosanitaires nécessaires et le coût de production d'une part et d'autre part, elle contribue à la sauvegarde de l'environnement. Comeau (1992) a évalué le rapport coût-bénéfice de la recherche dans le domaine de la résistance variétale à 1/300. Chaque dollar investi engendre un bénéfice de 300 dollars, alors que le coût élevé de la production de nouveaux insecticides donnent un rapport d'environ 1/15 ce qui est beaucoup moins intéressant.

Les recherches d'El-Defrawi *et al.* (1991) sur 7156 cultivars et celles de Khelfa (2004) sur 48 cultivars sont parmi les travaux réalisés sur la résistance de la fève à *Aphis craccivora*.

Les cultivars résistants constituent un moyen de lutte contre les insectes (Dhillon *et al.*, 2005), l'utilisation des cultivars résistants est devenue l'une des composantes de la lutte intégrée contre certains aphides (Fuentes-Contreras et Niemeyerm, 2000).

Pour résister aux agressions externes, la plante fait intervenir les mécanismes d'antibiose, d'antixénose et de tolérance. Dans le cas de l'antibiose, c'est la biologie

du ravageur qui est affectée (Smith, 2005). Ce type de résistance s'exprime par une réduction de la taille, du poids et de la fécondité de l'insecte (Tolmay *et al.*, 1999). Dans le cas d'antixénose, la plante agit à distance surtout par son aspect externe (Smith, 2005) afin de réduire son attractivité à l'égard des insectes (Bosland et Ellington, 1996). En ce qui concerne le mécanisme de tolérance, il est remarqué que la plante peut croître plus ou moins normalement et cela malgré l'installation du ravageur (Smith, 2005 ; Bosland et Ellington, 1996).

En matière de semences, beaucoup d'agriculteurs au niveau des régions de l'intérieur, notamment ceux de Biskra cultivent leur propre semence, qu'ils obtiennent et sélectionnent à partir de la production précédente.

La présente étude a pour objectif principal la recherche parmi les cultivars de fève locaux et étrangers ceux présentant un niveau de résistance intéressant à l'égard du puceron noir de luzerne *Aphis craccivora*. Une première évaluation est effectuée en plein champ sur l'ensemble des cultivars. Une deuxième évaluation est réalisée sous abri serre et qui consiste à déterminer les mécanismes déployés par chaque cultivar pour vaincre l'attaque de ce bioagresseur.

Le document est scindé en deux parties. La première comporte une synthèse sur des notions liées à la résistance des plantes. Alors que la deuxième comprend d'une part la présentation du matériel végétal et animal utilisé dans cette étude et les méthodes de travail appliquées lors des deux années d'étude ; et d'autre part les résultats et les discussions.

I- Synthèse bibliographique sur la résistance des plantes et sur Aphis craccivora

1.1- Définition de la résistance

La résistance des plantes a été identifiée comme un élément important de la lutte intégrée (*integrated pest management IPM*) en agriculture et en foresterie (Coyle *et al.*, 2002). Elle peut activement contribuer à la lutte contre les aphides (Sauge *et al.*, 1998).

De sa part, Smith (2005) a défini la résistance des plantes aux insectes comme étant l'ensemble de qualités génotypiques que possède un cultivar et qui agissent de telle sorte que ce dernier soit moins endommagé comparativement à un autre ne possédant pas ces qualités.

1.2- Différents types de résistance

1.2.1- Résistance verticale

La résistance verticale ou spécifique est définie comme étant une résistance totale d'un végétal à certaines souches du ravageur mais il reste sensible à d'autres (Seilleur, 1989). Si cette résistance est spécifique à une seule souche ou race du ravageur, elle est désignée dans ce cas par la résistance race-spécifique (Cuartero *et al.*, 1999).

1.2.2- Résistance horizontale

Si le cultivar est doté d'une résistance de type horizontale, il conservera dans ce cas le même niveau de résistance à l'égard de l'ensemble des biotypes d'un agent pathogène ou d'un ravageur déterminé (Seilleur, 1989). Ce type est désigné également par la résistance non-race-spécifique (Cuartero *et al.*, 1999).

1.3- Niveau de résistance

La résistance d'une plante à un parasite se manifeste par différents phénomènes :

- Immunité : parasite ne pénètre pas ou ne laisse aucune trace ;
- Hypersensibilité : le ravageur pénètre ou s'alimente mais ne se développe pas ;
- Résistance partielle : elle se manifeste de façons diverses: pénétration ou alimentation difficile du parasite, développement lent, multiplication ralentie, dispersion retardée ;
- Tolérance : le bioagresseur se développe et se multiplie, mais la productivité de la plante en est peu affectée (Maciejewski, 1991).

1.4- Origine de la résistance

Les systèmes de résistance des plantes aux attaques des bioagresseurs sont séparés en 2 groupes selon la période d'investissement des ressources d'énergie dans la défense.

1.4.1- Résistance préformée

Dans ce cas, les ressources sont investies dans la défense avant les attaques des ravageurs. Les métabolites secondaires et les structures histologiques interviennent souvent dans la résistance préformée. Les systèmes de résistance préformée représentent la première ligne de résistance à l'égard du ravageur lorsqu'il attaque la plante (Lieutier, 2004). Selon le besoin pour l'activation, 2 types de défenses préformées peuvent être distinguées (Karban et Balwin, 1997 cités par Lieutier, 2004) :

- Lorsque les structures défensives sont actives au même niveau qu'avant et après l'attaque, elles correspondent à une résistance (ou une défense) constitutive.
- Lorsque les structures défensives ont besoin d'être activées pour intervenir dans la résistance, elles correspondent dans ce cas à une défense active ou une défense préformée induite (Lieutier, 2002).

Les défenses constitutives incluent des barrières physiques et chimiques (Chen, 2008). Parmi les défenses constitutives morphologiques, il y a lieu de citer la cire de la cuticule, qui forme un obstacle qui empêche l'insecte d'atteindre la sève. Les parois épidermiques épaisses et dures des cellules peuvent rendre également l'accès des pièces buccales de l'insecte aux sources d'alimentation difficile ou impossible. La couleur, la forme et les poils des tiges et des feuilles des plantes sont aussi des caractères morphologiques des plantes qui peuvent interférer et modifier le comportement des insectes (Cuartero *et al.*, 1999).

Les grains de légumes sont souvent protégés par une accumulation de composants anti-nutritionnels qui persistent jusqu'à la germination (Stamopoulos, 1987 cité par Edwards et Singh, 2006).

1.4.2- Résistance induite

Les changements produits dans les plantes après des dégâts ou un stress sont des réponses induites (Karban et Baldwin, 1997 cités par Cornelissen *et al.*, 2002). Ces changements peuvent ou ne peuvent pas affecter les herbivores et/ou les plantes qui expriment ces réponses. Les réponses induites qui diminuent les effets négatifs des attaques sur les plantes sont dites défenses induites (Cornelissen *et al.*, 2002).

Chez la plante, la défense induite passe par 3 étapes: surveillance, transduction du signal et la production de substances chimiques défensives (Dangl et McDowell, 2006 ; Ferry *et al.*, 2004 ; Kessler et Baldwin, 2002 ; Walling, 2000 cités par Chen, 2008). Dans la première étape, le système de surveillance de la plante détecte les attaques du parasite par une reconnaissance spécifique des signaux (Chen, 2008). Une fois que le signal a été reçu et analysé, la plante mobilise tous ses moyens pour s'opposer à l'installation et à la prise alimentaire de cet intrant.

Deux types de défense induite ont été détectés chez les plantes: défenses directes et indirectes.

Les défenses indirectes incluent les traits de la plante qui eux-mêmes n'affectent pas la susceptibilité des plantes hôtes, mais ils peuvent servir comme attractifs pour les ennemis des insectes attaquants (Chen, 2008). Les plantes infestées

par les herbivores peuvent changer qualitativement et/ou quantitativement leurs émissions volatiles (de Boer *et al.*, 2008). La production de substances chimiques volatiles attractives pour les prédateurs et les parasitoïdes peut être assurée par l'organe attaqué ou par la plante entière (Dicke, 1994 cité par Cuartero *et al.*, 1999). Dans le deuxième cas, les dégâts causés par les herbivores peuvent induire une émission des volatiles par les zones endommagées et non endommagées de la plante (Dicke et Sabelis, 1988 ; Dicke *et al.*, 1990 a,b ; Turlings *et al.*, 1990, 1995 ; Steinberg *et al.*, 1993 ; Agelopoulos et Keller, 1994 a,b ; McCall *et al.*, 1994 ; Röse *et al.*, 1996 ; De Moraes *et al.*, 1998 ; Du *et al.*, 1998 cités par Meiners et Hilker, 2000).

Les *défenses directes* incluent les traits des plantes qui affectent, eux-mêmes, la susceptibilité de la plante hôte vis-à-vis des attaques de l'insecte (Kessler et Baldwin, 2002 cités par Chen, 2008). Les plantes utilisent des toxines, des répulsifs ou des structures morphologiques (Karban *et al.*, 1997 ; Karban et Baldwin, 1997 ; Schoonhoven *et al.*, 1998 ; Agrawal et Rutter, 1998 ; Baldwin et Preston, 1999 ; Dicke *et al.*, 2003 cités par Hiltpold et Turlings, 2008). La résistance induite agit généralement sur le potentiel biotique du ravageur, en réduisant sa survie, son taux de croissance et sa fécondité. Les changements produits après l'induction peuvent affecter l'insecte en question et dans certains cas même les autres herbivores qui essayent de s'installer par la suite (Cornelissen *et al.*, 2002).

Les activités d'alimentation du ravageur peuvent inciter la plante à produire des volatils d'une façon très rapide et qui affectent le comportement de l'alimentation du ravageur (Karban et Myers, 1989 cités par Cuartero *et al.*, 1999). Dans d'autres cas, cette réaction est très lente et se manifeste à titre d'exemple par des changements morphologiques, tels que l'augmentation de la densité des poils (Cuartero *et al.*, 1999).

Les mécanismes induits peuvent être morphologiques ou chimiques (Cuartero *et al.*, 1999). Les défenses directes de la plante peuvent être classées comme anti-nutritionnelles et toxiques (figure 1). L'anti-nutrition peut être pré-ingestion pour limiter la nourriture, et post-ingestion afin de réduire la valeur nutritionnelle pour les insectes attaquants (Chen, 2008).

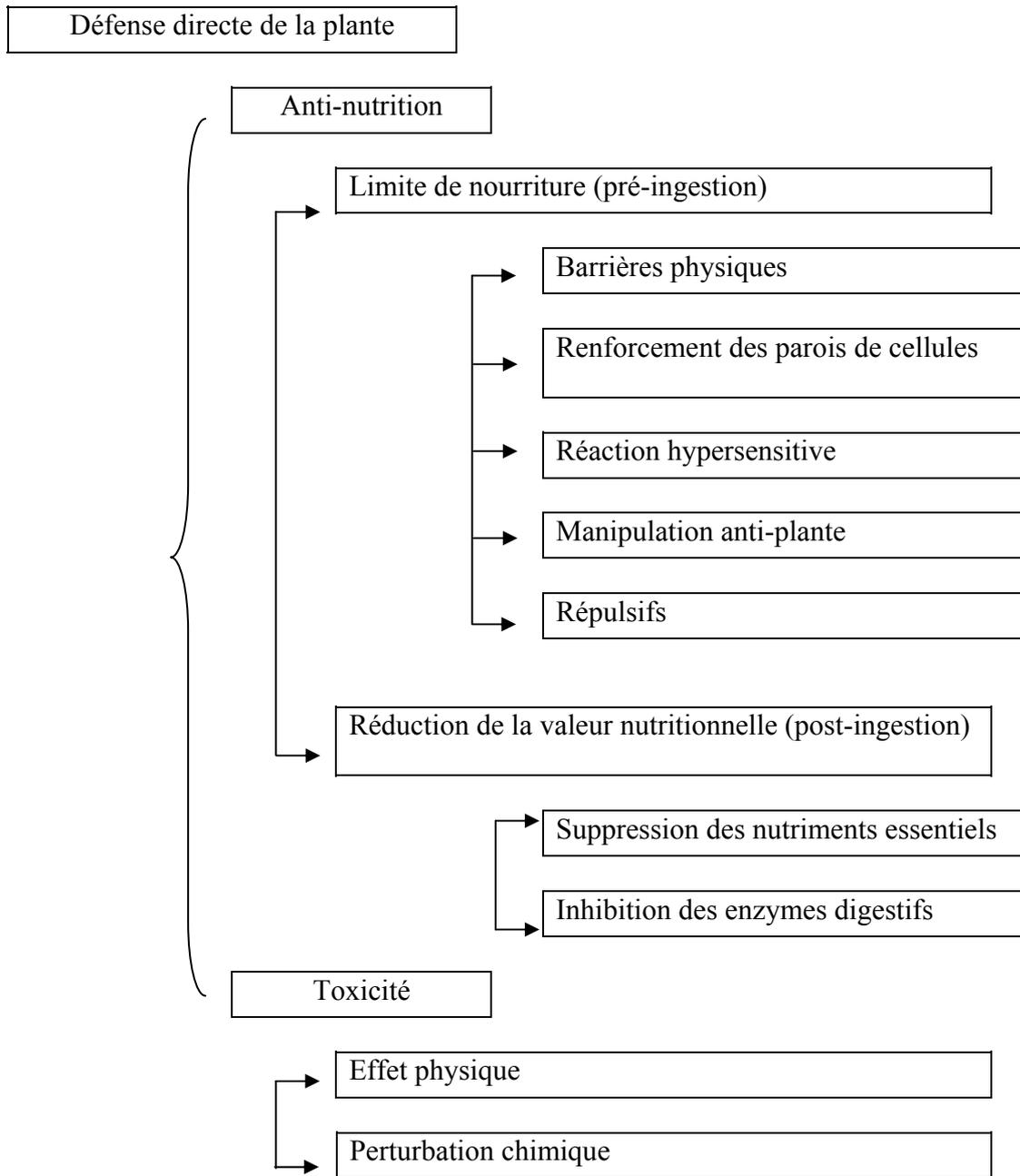


Figure 1: Catégories de la défense directe de la plante contre les insectes herbivores (Chen, 2008).

Les mécanismes de défenses morphologiques et chimiques impliqués dans la résistance des plantes à leurs bioagresseurs sont associés parfois avec une réponse hypersensitive ; un processus qui conduit à une nécrose rapide des cellules infectées (Cuartero *et al.*, 1999). La réponse hypersensitive implique une mortalité rapide des cellules du site d'infestation, ce qui empêche la propagation de la salive de l'insecte et empêche son accession vers les sites d'alimentation (Chen, 2008). L'hypersensibilité a été observé chez les variétés de pommier résistantes au puceron lanigère *Dysaphis plantaginea* (Briggs, 1967 ; Alston et Briggs, 1970 cités par Sauge *et al.*, 1998). Chez ces variétés, la réaction hypersensitive n'empêche pas l'installation de l'aphide, mais elle a réduit son pouvoir biotique (Lyth, 1985 cité par Sauge *et al.*, 1998).

L'hypersensitivité a été également détectée chez des arbres forestiers. Ollerstam et Larsson (2003) ont indiqué que des génotypes résistants de *Salix viminalis* réagissent avec une réponse hypersensitive rapide lorsqu'ils sont attaqués par la cécidomyie *Dasineura marginemtorquens*.

Par ailleurs, les substances chimiques émises par la plante une fois incitée par l'insecte ravageur peuvent agir d'une autre façon. Par exemple, certaines plantes produisent en excès des protéases, qui peuvent digérer des protéines structurales de l'insecte après leur ingestion (Chen, 2008). C'est le cas du « 33-kDa cystéine protéase » produit par le maïs (Pechan *et al.*, 2000 cités par Chen, 2008). Cette protéase s'accumule rapidement dans le site d'alimentation de l'insecte. Après son ingestion, elle digère des protéines de l'intestin des chenilles, ce qui inhibe la croissance et le développement de l'insecte.

Des substances comme des kinases, des phosphatases et des protéases régulatrices secrétées par les plantes après leur incitation peuvent également affecter la croissance et le développement des insectes. Certaines substances chimiques de la plante peuvent même inhiber les sécrétions enzymatiques des insectes (Chen, 2008).

1.5- Nature des émissions

Les stimulants phytochimiques qui empêchent l'alimentation des bioagresseurs sont des phagodissuadants, alors que, ceux qui les incitent à poursuivre leur alimentation sont des phagostimulants. Ces stimulants phytochimiques, désignés

également par les allélochimiques, peuvent fonctionner comme des allomones, s'ils sont bénéfiques pour la plante, et en même temps comme des kairomones, s'ils sont bénéfiques au ravageur récepteur. Dans le domaine de la résistance des plantes aux insectes, les allomones sont représentées par les phagodissuadants, les répulsifs et les inhibiteurs d'alimentation et d'oviposition. Par contre, les kairomones, sont représentés par les attractifs, les arrestants, et les stimulants d'alimentation et d'oviposition rencontrés essentiellement dans les plantes sensibles (Smith, 2005).

Les métabolites primaires produits par les plantes, particulièrement, les sucres et les acides aminés libres, ont un rôle important comme nutriments et phagostimulants pour de nombreuses espèces d'insectes (Kim et Mullin, 2003). Par ailleurs, les métabolites secondaires jouent un rôle important dans l'adaptation des plantes à leur milieu environnant et peuvent intervenir également dans la défense chimique contre les ravageurs et les maladies (Wink, 1988 ; Jander *et al.*, 2001 ; Kliebenstein *et al.*, 2005 cités par de Bruyne et Baker, 2008). Parmi les allélochimiques qui interviennent fréquemment dans la dissuasion, il y a des alcaloïdes, des flavonoïdes, des terpènes lactones et des phénols. Ces substances sont produites et stockées dans des parois des cellules des feuilles, des vacuoles ou des structures spécialisées telles que les trichomes et les cires (Smith, 2005).

De nombreuses toxines terpénoïdiques des graines et des fruits sont des irritants gastro-intestinaux des insectes (Strebler, 1989). Ainsi, les composants secondaires de dissuasion de la plante, tels que, les alcaloïdes, sont des médiateurs importants dans les interactions insecte-plante. Les alcaloïdes servent principalement comme inhibiteurs de croissance, phagodissuadants, et souvent possèdent des toxines (Saunders *et al.*, 1992 cités par Shields *et al.*, 2008). De plus, les saponines qui sont fréquentes chez les plantes, en particulier, au niveau des graines et des racines, exercent dans certains cas des effets de défense contre les insectes (Strebler, 1989).

1.6- Réaction des insectes

Dans certaines interactions, l'insecte exploite les propriétés toxiques des métabolites secondaires de la plante dans sa défense contre ses ennemis (Rowell-Rahier et Pasteels 1992 cités par Larsson, 2002). A titre d'exemple, certains lépidoptères vivant sur des plantes toxiques, intègrent les toxines de la plante dans la

biosynthèse de leurs propres composants défensifs (Laurent *et al.*, 2005).

1.7- Plantes transgéniques

Certaines firmes ont mis sur le marché des variétés dotées d'une résistance artificielle contre leurs ravageurs et maladies. Ce matériel végétal fait partie des organismes modifiés génétiquement (OGM) ou encore « les plantes transgéniques ».

Cependant, les végétaux transgéniques présentent certains inconvénients. Par exemple, le grain pollen du maïs transgénique contenant une toxine Bt affecte négativement la survie et le développement larvaire du papillon migrateur et protégé dans certains pays *Danaus plexippus* (Losey *et al.*, 1999 ; Hansen-Jesse et Obrycki, 2000 cités par Coyle *et al.*, 2002). Également, une mortalité importante a été constatée chez les larves d'un insecte aphidiphage *Chrysoperla carnea* installé sur des variétés de maïs transgéniques (riche en toxine CryIAb) résistantes à *Ostrinia nubilalis* (Hilbeck *et al.*, 1998a,b et 1999 ; Dutton *et al.*, 2002 et 2003 cités par Smith, 2005).

Plusieurs travaux ont mis en évidence l'impact négatif des plantes transgéniques riches en toxine Bt sur les organismes bénéfiques (James *et al.* 1993 cités par Coyle *et al.*, 2002). Après des études réalisées au laboratoire, Birch *et al.* (1998 cités par Smith, 2005) ont remarqué que les variétés de pomme de terre transgéniques résistantes au puceron vert *Myzus persicae*, réduisent significativement la fécondité et la longévité de la coccinelle aphidiphage *Adalia bipunctata*.

Par ailleurs, plusieurs cas de résistance aux plantes transgéniques sont enregistrés chez des insectes phytophages comme le doryphore *Leptinotarsa decemlineata*, la pyrale du maïs *Ostrinia nubilalis* et le ver du cotonnier *Spodoptera littoralis* (Smith, 2005).

1.8- Description d'*Aphis craccivora*

Aphis craccivora est un puceron de couleur noire, avec une plaque dorsale noire brillante chez l'aptère (Blackman et Eastop, 2007), sa taille est rarement plus de 2 mm (Anonyme, 1996), elle est de 1,4 à 2 mm (Hullé *et al.*, 1999). La larve est grisâtre terne, avec une légère pruine cireuse (Anonyme, 1996). L'ailé d'*A. craccivora*,

ou encore appelé *A. laburni* ou *A. medicagenis*, est noir (Anonyme, 1996), sa taille est de 1,4 à 1,9 mm, les antennes sont de la longueur du corps, l'abdomen est foncé avec des stries noires pouvant se rejoindre, les cornicules sont courtes et épaisses (Hullé *et al.*, 1999).

1.9- Plantes hôtes

Aphis craccivora est très polyphage (Hullé *et al.*, 1999), il attaque approximativement 50 cultures (Blackman et Eastop, 2007) appartiennent à plusieurs familles botaniques, telles que, les Astréacées, Cucurbitacées, Liliacées et les Solanacées, avec une préférence pour les Fabacées (Hullé *et al.*, 1999). *Arachis*, *Glycine*, *Medicago*, *Melilotus*, *Trifolium*, *Vicia* sont parmi les espèces de Fabacae attaquées (Blackman et Eastop, 2007).

Les individus se nourrissent de préférence sur les pousses en croissance, les feuilles, les inflorescences et les fruits (Anonyme, 1996 ; Hullé *et al.*, 1999).

1.10- Cycle biologique

A. craccivora est un puceron anholocyclique, sa reproduction est continuellement parthénogénétique (Hullé *et al.*, 1999). Les ailés assurent la dissémination d'un champ à un autre (Anonyme, 1996).

1.11- Dégâts

Les pucerons, sont des insectes piqueurs, se nourrissent en prélevant et en absorbant la sève de leur hôte. Ils engendrent un affaiblissement général de la plante. Les pucerons ont aussi une action toxique (Moreau et Leteinturier, 1997). En cas de pullulation sur les tissus jeunes, la croissance et la floraison sont perturbées (Anonyme, 1996).

Les pucerons prélèvent directement dans la sève phloémienne une partie des produits de la photosynthèse, dont les acides aminés essentiels à la plante. Ces prélèvements, lors d'infestations massives par les pucerons, peuvent provoquer un arrêt de la croissance de la plante (Miles, 1989 cité par Sauvion, 1995).

Les dégâts indirects sont de deux types : générateurs de miellat et de fumagine d'une part, vecteurs de virus d'autre part.

Le puceron, lors des comportements de recherche, rencontre une plante (plante hôte ou plante non-hôte), si celle-ci est infectée par un virus, l'aphide acquiert ce dernier avec la sève et assure son transport et son inoculation dans des plants sains. Le temps qui s'écoule entre l'acquisition du virus et une inoculation (latence) peut durer quelques secondes ou plusieurs heures.

Les virus non-circulants sont acquis et transmis par les pucerons à l'occasion de piqûres brèves. Ils ont une faible spécificité (plusieurs espèces de pucerons transmettent le même virus) et peuvent par ailleurs être transmis mécaniquement. Ils regroupent les virus non-persistants et les virus semi-persistants. Cette seconde catégorie a besoin d'un temps d'acquisition assez long (1h à 8 heures).

Les virus circulants (virus persistants) sont acquis et transmis par les pucerons après des temps de piqûres assez long (de l'ordre de 30 minutes à 1 heure). La spécificité de transmission est étroite (Moreau et Leteinturier, 1997).

Sur les légumineuses, *A. craccivora* peut transmettre des virus tels que cucumber mosaic virus et broad bean mosaic virus (Anonyme, 1996).

II- Partie expérimentale

II-1 Matériels et Méthodes

2.1.1- Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé lors de cette étude comporte 77 cultivars de fève (*Vicia faba*) locaux et étrangers. Ils sont codés de 1 à 19 et de 100 à 157 (tableau 1).

Tableau 1: Codes et origines des cultivars de fève utilisés lors de cette étude

Code du cultivar	Origine	Code du cultivar	Origine
1	Espagne	120	Biskra
2	Espagne	121	Biskra
3	Inconnue	122	Biskra
4	Inconnue	123	Biskra
5	Inconnue	124	Biskra
6	Inconnue	125	Biskra
7	Inconnue	126	Biskra
8	Inconnue	127	Khenchela
9	Inconnue	128	Biskra
10	Inconnue	129	Biskra
11	Inconnue	130	Khenchela
12	Inconnue	131	Biskra
13	Inconnue	132	Biskra
14	Inconnue	133	Biskra
15	Inconnue	134	Khenchela
16	Inconnue	135	Khenchela
17	Inconnue	136	Khenchela
18	Inconnue	137	Ouargla
19	Inconnue	138	Ouargla
100	Biskra	139	Khenchela
101	Biskra	140	Khenchela
102	Biskra	141	Biskra
103	Biskra	142	Khenchela
104	Biskra	143	Khenchela
105	Biskra	144	Khenchela
106	Biskra	145	Khenchela
107	Biskra	146	Khenchela
108	Biskra	147	Khenchela
109	Biskra	148	Khenchela
110	Biskra	149	Khenchela
111	Biskra	150	Khenchela
112	Biskra	151	Batna
113	Biskra	152	Batna
114	Biskra	153	Biskra
115	Biskra	154	Biskra
116	Biskra	155	Biskra
117	Biskra	156	Biskra
118	Biskra	157	Biskra
119	Biskra		

2.1.2- Matériel animal

A partir d'un seul individu adulte aptère, il est procédé à un élevage de base sur des plants de fève cultivés sous serre. La descendance obtenue est utilisée pour l'infestation des plants sous serre.

2.1.3- Méthodes expérimentales

2.1.3.1- Caractérisation du matériel végétal

Plusieurs auteurs ont mentionné que l'aspect externe de la plante peut intervenir dans la résistance de la plante à ses ravageurs. Il est procédé à la caractérisation de l'ensemble des cultivars retenus dans cette étude. Les caractères retenus sont ceux proposés par UPOV (2003). Les stades phénologiques retenus pour mesurer les caractères étudiés ainsi que leurs codes sont mentionnés dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 2: Présentation des caractères morphologiques retenus lors de cette étude (UPOV, 2003)

Caractère	Stade d'observation	Code de l'UPOV
Plante : hauteur	60-69	3
Plante : nombre de tiges (tiges dépassant la moitié de la longueur de la tige principale incluse)	60-69	4
Tige : nombre de nœuds jusqu'au premier nœud florifère inclus	60-69	5
Tige : pigmentation anthocyanique (absente ou présente)	39-69	6
Foliole : longueur (paire basale de foliole au niveau du second nœud)	62-65	9
Foliole : largeur (paire basale de foliole au niveau du second nœud)	62-65	10
Foliole : position de la largeur maximale (paire basale de foliole au niveau du second nœud) - vers le sommet (note 1) - au milieu (note 2) - vers la base (note 3)	62-65	11
Racème : nombre de fleurs (dans le 2 ^{ème} nœud florifère)	62-65	13
Fleur : longueur (dans le 2 ^{ème} nœud florifère)	60-65	15
Graine sèche : poids	99	31
Graine sèche : pigmentation noire du hile - absente - présente	99	33

Tableau 3: Quelques stades phénologiques de la fève (Meier, 1997 cité par UPOV, 2003)

Code	Définition
Stade principal 3 : élongation de la tige principale	
30	début de l'élongation de la tige principale
31	l'élongation du premier entre-nœud est visible
32	2 entre-nœuds visibles
33	3 entre-nœuds visibles
3.	et ainsi de suite ...
39	9 ou davantage d'entre-nœuds visibles
Stade principal 5 : apparition de l'inflorescence	
50	les boutons floraux sont formés mais toujours enveloppés par des feuilles
51	les premiers boutons floraux sont visibles et ne sont plus enveloppés par des feuilles
55	les premiers boutons floraux sont individuellement visibles, toujours fermés mais dégagés des feuilles
59	les premiers pétales et de nombreux boutons floraux individuels toujours fermés sont visibles
Stade principal 6 : la floraison	
60	les premières fleurs sont ouvertes
61	les fleurs de la première grappe sont ouvertes
63	les fleurs sont ouvertes sur 3 grappes par plante
65	pleine floraison : les fleurs sont ouvertes sur 5 grappes par plante
67	la floraison s'achève
69	fin de la floraison
Stade principal 8 : maturation des fruits et graines	
80	début de la maturation : les graines sont vertes et remplissent la cavité de la gousse
81	10% des gousses sont à maturité, les graines sont sèches et dures
82	20% des gousses sont à maturité et de couleur foncée, les graines sont sèches et dures
83	30% des gousses sont à maturité et de couleur foncée, les graines sont sèches et dures
84	40% des gousses sont à maturité et de couleur foncée, les graines sont sèches et dures
85	50% des gousses sont à maturité et de couleur foncée, les graines sont sèches et dures
86	60% des gousses sont à maturité et de couleur foncée, les graines sont sèches et dures
87	70% des gousses sont à maturité et de couleur foncée, les graines sont sèches et dures
88	80% des gousses sont à maturité et de couleur foncée, les graines sont sèches et dures
89	maturation complète: presque toutes les gousses sont foncées, les graines sont sèches et dures
Stade principal 9 : sénescence	
93	la tige devient plus foncée
95	50% de la tige est brune et noir
97	plante desséchée et morte
99	produit après récolte

2.1.3.2- Evaluation de la résistance en plein champ

2.1.3.2.1- Mise en place de la culture et dispositif

Les 77 cultivars retenus pour cette étude sont semés le 5 décembre 2007 dans une parcelle située dans le terrain expérimental du Département d'Agronomie de Batna. Chaque cultivar est représenté par 5 à 10 graines. La distribution des cultivars est montrée dans la figure 2. La culture est conduite sans traitements insecticides et sans fertilisation.

2.1.3.2.2- Infestation des plants

Au stade floraison, les cultivars qui sont représentés par plus de 2 plants ont subi une infestation par un adulte aptère d'*Aphis craccivora*. Pour évaluer l'importance des colonies aphidiennes formées, il est procédé à un comptage 20 jours après la date de l'infestation artificielle des plants.

2.1.3.2.3- Classement des cultivars

Pour l'évaluation de la résistance des cultivars de certaines cultures à l'égard des insectes, plusieurs méthodes ont été appliquées. Certains auteurs ont classé les cultivars sur la base des dégâts visuels causés par les insectes. Horton *et al.* (1997) ont évalué la résistance de 8 lignées de pomme de terre *Solanum tuberosum* et un cultivar témoin à *Leptinotarsa decemlineata*, en utilisant une échelle de 6 degrés basée sur le niveau de défoliation (0 = pas d'alimentation, 5= défoliation complète). Frei *et al.* (2004) ont testé 7 génotypes résistants et 5 sensibles du haricot *Phaseolus vulgaris* pour déterminer leur résistance à l'égard de *Thrips palmi*. Ces auteurs ont utilisé 2 échelles, l'une tient compte des dégâts (de 1 = absence de dégâts visibles à 9 = dégâts sévères) et l'autre se base sur la production des plants (1= pas de développement des gousses, 9= toutes les gousses apparaissent normales). Ainsi, Sharma *et al.* (1999) ont utilisé une échelle de 9 degrés pour l'évaluation visuelle des dégâts de la cécidomyie (*Stenodiplosis sorghicola*) sur des génotypes de sorgho. Egalement, Dhillon *et al.* (2005) ont utilisé le niveau de dégâts de la mouche *Atherigona soccata* pour l'examen de 12 génotypes de sorgho dans le champ, après 14, 21 et 28 jours de la germination des plants.

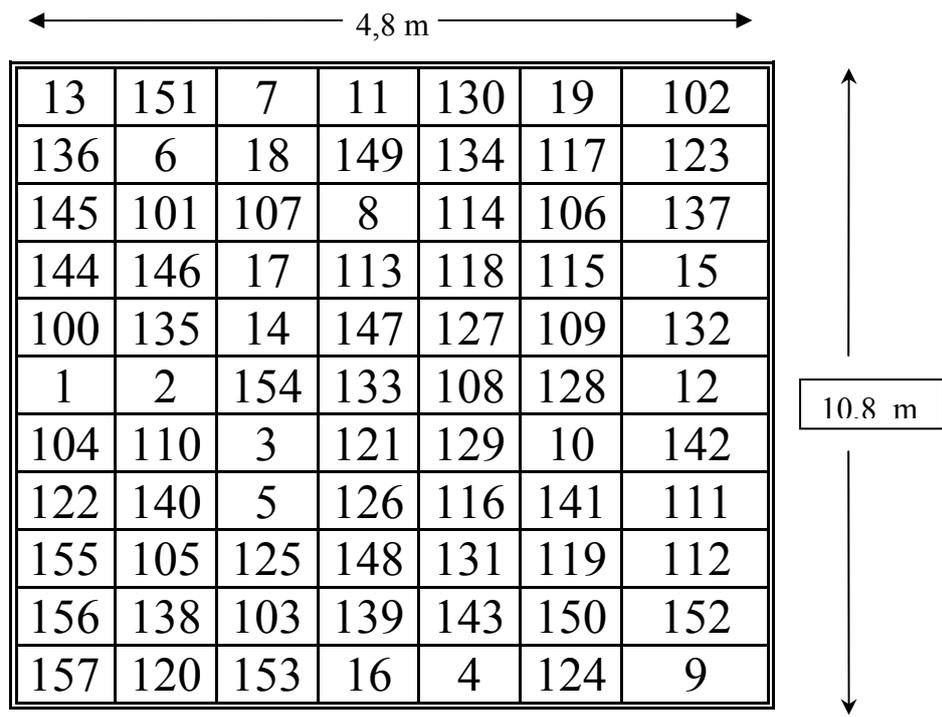


Figure 2: Disposition des différents cultivars de fève étudiés en plein champ

De plus, Barker et McKenzie (1996) ont utilisé le pourcentage des graines affectées par la cécidomyie (*Sitodiplosis mosellana*) pour classer des lignées et des cultivars du blé de printemps. L'évaluation visuelle des dégâts est très difficile à pratiquer.

Dans cette étude, il est procédé à l'application de l'échelle décrite par El – Defrawi *et al.* (1991). Les différents cultivars sont classés selon le nombre d'individus de pucerons comptés sur chaque plant durant l'évaluation effectuée après 20 jours d'infestation.

- Le cultivar est considéré comme résistant (classe 1), si le nombre est \leq à 5 aphides par plant ;
- Le cultivar est classé comme tolérant (classe 2), si le nombre est compris entre 6 et 20 aphides par plant ;
- Le cultivar est jugé sensible (classe 3), si la colonie formée comporte entre 21 et 50 pucerons par plant ;
- Le cultivar est considéré comme très sensible (classe 4), si le nombre de pucerons par plant est supérieur à 50.

2.1.3.3- Evaluation de la résistance sous abri serre

Les cultivars classés comme résistants en plein champ et qui présentent également de bon rendement (nombre élevé de grains), sont retenus pour cette deuxième évaluation réalisée sous un abri serre au Département d'Agronomie de Batna. Dans cette deuxième partie du travail, les 7 cultivars sélectionnés (**3, 118, 120, 133, 140, 143 et 148**) ont été soumis à une série de tests pour déterminer la contribution des mécanismes de tolérance, d'antibiose et d'antixénose dans cette résistance naturelle.

2.1.3.3.1- Evaluation de la résistance par antixénose

Les cultivars résistants par antixénose présentent un avantage dans la lutte contre les maladies virales. Les plants non préférés par des vecteurs de virus sont loin des contaminations virales.

L'antixénose induit globalement un nombre de comportements ; il y a ceux qui nécessitent la mobilisation des organes sensoriels localisés dans les antennes, le

labium et les pattes du puceron, et ceux qui impliquent les mouvements de la tête et de l'abdomen (Renard *et al.*, 1998). L'olfaction, la vision, la thigmoreception et la gustation sont les systèmes sensoriels impliqués dans la sélection de l'hôte (Smith, 2005).

La sélection d'une plante hôte par les insectes peut être divisée en découverte de plante hôte et son acceptation (Thompson, 1988 cité par Barre *et al.*, 2002).

Les insectes herbivores utilisent des substances émises par les plantes pour reconnaître d'une façon précise leur localisation (Bengtsson *et al.*, 2006). Ces signaux volatiles chimiques sont détectés par des récepteurs olfactifs dans les antennes (Bruce *et al.*, 2005 cités par Mauchline *et al.*, 2008).

Les plantes qui résistent par antixénose peuvent produire des répulsifs olfactifs qui laissent les arthropodes à l'écart.

L'acceptation ou la non acceptation d'un aliment (plante) est déterminée par l'intégration de tous les signaux positifs et négatifs à travers des cellules sensorielles qui agissent en interférence avec des facteurs modulateurs qui varient selon l'état physiologique de l'insecte (Renwick, 1999 ; Bernays et Chapman, 2000 cités par Kim et Mullin, 2003). Les comportements typiques avant l'acceptation ou le refus d'un hôte sont l'antennation, la palpation, le test perçant et le test d'alimentation (Harrison, 1987 cité par Heisswolf *et al.*, 2007).

L'acceptation chez les insectes qui s'alimentent à partir de la sève, tels que les pucerons, est le résultat de la succession d'étapes comportementales. Après un test pratiqué à la surface de la plante (tissus externes), le puceron procède ensuite à l'enfoncement de son stylet en profondeur et enfin au test du phloème. Si la plante est jugée non convenable, l'exploration peut s'arrêter à la première étape (Klingauf, 1987 cité par Renard *et al.*, 1998). Durant la 2^{ème} étape, l'insecte pose généralement ses stylets dans les tissus de la plante pour atteindre à la fin les cellules du phloème, ou, occasionnellement, les cellules du xylème. La pénétration est relativement longue (de 15 minutes à 1 heure) et se fait généralement d'une manière intercellulaire. L'acceptation finale par l'aphide dépend des propriétés qualitatives et quantitatives du

phloème (Renard *et al.*, 1998).

2.1.3.3.1.1- Mise en place de la culture

Les plants des 7 cultivars retenus pour cette deuxième évaluation ont été placés aléatoirement dans de grands sacs en plastique selon le dispositif représenté sur les figures 5, 6 et 7 et placés sous un abri serre situé au terrain expérimental du Département d'Agronomie de Batna. Les 7 plants représentant les 7 cultivars ont été placés en cercle tout en respectant la distance entre elles et la distance par rapport au centre du sac en plastique (environ 12 cm). Cette opération est répétée 11 fois (blocs), dont 6 sacs sont destinés à être infestés par les adultes aptères d'*Aphis craccivora* et 5 sacs par les adultes ailés toujours de la même espèce aphidienne.

Pour éviter toute infestation externe par les pucerons et l'installation des auxiliaires, chaque grand sac contenant les 7 cultivars est protégé séparément par un manchon en mousseline (figure 7).

2.1.3.3.1.2- Infestation artificielle

Au stade 2 à 3 feuilles, 70 adultes aptères ou ailés d'*Aphis craccivora* sont déposés au centre de chaque sac en plastique. Cette opération a nécessité l'utilisation de 350 adultes ailés (5 sacs) et 420 adultes aptères (6 sacs) du puceron noir de la luzerne.

Dans une étude semblable, Tolmay *et al.* (1999) ; Castro *et al.* (1999) ont procédé de la même manière pour évaluer la résistance antixénotique de quelques variétés de blé aux pucerons *Diuraphis noxia* et *Schizaphis graminum*.

2.1.3.3.1.3- Evaluation de la résistance antixénotique

A de grandes distances, les pucerons utilisent des moyens visuels et olfactifs pour détecter leurs hôtes préférés. Pour cela, ils exploitent l'aspect externe de la plante (silhouette, couleur) et ses différentes sécrétions (métabolites secondaires). Une fois sur place, ils commencent à pratiquer des piqûres d'essai. Sur cette base, ils vont décider de s'installer définitivement ou de changer d'hôtes. Pour évaluer l'attractivité exercée par les différents cultivars sur les pucerons et le changement de décisions après les piqûres alimentaires, des comptages des individus installés sur chaque plant

Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4	Bloc 5	Bloc 6
120	140	143	133	118	120
133	3	148	3	143	118
148	143	3	118	148	140
143	120	140	140	3	133
118	133	120	120	120	148
3	118	118	148	140	143
140	148	133	143	133	3

Figure 3: Disposition des cultivars dans chaque sac (bloc) dans le cas de l'évaluation de la résistance antixénotique contre les pucerons aptères

Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4	Bloc 5
120	140	148	120	118
133	143	120	133	140
143	120	140	148	120
3	118	143	3	148
140	3	118	143	143
148	148	3	140	133
118	133	133	118	3

Figure 4: Disposition des cultivars dans chaque sac (bloc) dans le cas de l'évaluation de la résistance antixénotique contre les pucerons ailés



Figure 5: Disposition des plants dans un sac (à gauche) et couverture d'un sac par un manchon de mousseline (à droite)

sont effectués après 2 heures (Castro *et al.*, 1999), 24 heures (Castro *et al.*, 1999 ; Tolmay *et al.*, 1999), 48 et 72 heures (Khelfa, 2004) de l'infestation artificielle pour les aptères et après 2, 4, 24 et 48 heures pour les ailés. Les ailés déplacent plus vite que les aptères.

Certaines études ont traité la préférence des insectes pour l'oviposition (Sharma *et al.*, 2002 ; Barre *et al.*, 2002 ; Di Tomaso et Losey, 2003 ; Dhillon *et al.*, 2005 ; Kumari *et al.*, 2006 ; Narayanamma *et al.*, 2007) ou pour l'alimentation (McLoed *et al.*, 1991 ; Foss et Rieske, 2003), au moment que d'autres ont accordé une importance au phénomène de l'acceptation des plantes par les insectes pour s'alimenter (Eben et López-Carretero, 2008) ou se reproduire (Sauge *et al.*, 1998 ; Kiggundu *et al.*, 2007).

2.1.3.3.2- Evaluation de la résistance par antibiose

Ce mécanisme agit par les effets antibiotiques de la plante sur le développement et la reproduction de l'insecte (Lamberti *et al.*, 1983 cités par Khelfa, 2004). Le trait de résistance peut interférer avec la physiologie de l'insecte conduisant à une réduction de croissance, de fécondité et de survie (Larsson, 2002). L'antibiose cause la mort de l'insecte ou décroît son taux de développement ou son potentiel biotique.

Les plantes peuvent exprimer plusieurs genres d'antibiose, les uns impliquent les différences dans la morphologie, les autres dans les facteurs chimiques (Russel, 1978 cité par Khelfa, 2004).

2.1.3.3.2.1- Détermination de la taille et de la fécondité potentielle

Plusieurs auteurs ont montré que les paramètres biologiques et démographiques de l'insecte, entre autres, la taille et la fécondité potentielle sont en corrélation directe avec le statut nutritif de la plante hôte.

2.1.3.3.2.1.1- Mise en place de la culture

Pour l'étude de ces deux paramètres biotiques d'*Aphis craccivora*, 77 plantes représentant les 7 cultivars ont été cultivées séparément dans des sacs et placées dans un abri serre (figure 6). Les sacs ont été couverts (figure 7).

bloc 1	bloc 2	bloc 3	bloc 4	bloc 5	bloc 6	bloc 7	bloc 8	bloc 9	bloc 10	bloc 11
140	3	148	120	120	120	118	3	148	120	148
148	120	3	148	148	148	133	118	133	140	140
143	143	118	133	118	140	143	120	120	3	118
120	140	140	3	140	3	140	133	3	118	120
133	148	143	140	133	143	120	143	143	143	3
118	118	133	118	143	133	3	148	140	133	143
3	133	120	143	3	118	148	140	118	148	133

Figure 6: Disposition des cultivars dans l'étude de l'antibiose (taille de l'adulte et nombre d'embryons)



Figure 7: Disposition des plants dans l'étude de l'antibiose (taille de l'adulte et nombre d'embryons)

2.1.3.3.2.1.2- Infestation des plants

Au stade 2 feuilles, chaque plante est infestée par un adulte aptère d'*A. craccivora*. Après avoir donné 2 larves, l'adulte utilisé initialement pour l'infestation de chaque plant est éliminé.

2.1.3.3.2.1.3- Mensuration et comptage

Une fois que les larves ont atteint le stade adulte, leur taille (du front jusqu'à l'extrémité de la cauda) est déterminée à l'aide d'une loupe binoculaire à objectif gradué.

Ces mêmes adultes qui n'ont pas commencé à donner des larves ont été également retenus pour la détermination de leur fécondité potentielle. Dans des gouttes de bleu de méthylène et sous une loupe binoculaire, il est procédé à la dissection de chaque femelle. Une incision est pratiquée au niveau de l'abdomen. En utilisant une épingle entomologique, une pression est exercée sur le corps de l'insecte pour faire ressortir l'ensemble des embryons. Le nombre total des embryons a été ensuite compté.

2.1.3.3.2.2- Détermination du nombre et du poids d'insectes

2.1.3.3.2.2.1- Mise en place de la culture

Les 21 graines représentant les 7 cultivars ont été semées dans des sacs le 13/10/2008 et disposés en blocs randomisés (figure 8).

2.1.3.3.2.2.2- Infestation des plants

Pour déterminer le nombre et le poids du puceron russe *Diuraphis noxia* sur 4 cultivars de blé, Tolmay *et al.* (1999) ont travaillé de la manière suivante. Au stade 2 feuilles, ils ont procédé à une infestation des plants par 4 larves du 4^{ème} stade et 20 jours après ils ont compté et pesé la masse finale des aphides.

De la même façon, Alvarez *et al.* (2006) ont déterminé le nombre d'aphides de *Myzus persicae* après 8 et 15 jours de l'infestation des jeunes plants appartenant au genre *Solanum* par 5 adultes aptères.

BLOC 1	120	148	133	3	140	118	143
--------	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----

BLOC 2	148	3	118	140	143	133	120
--------	-----	---	-----	-----	-----	-----	-----

BLOC 3	3	120	143	140	148	118	133
--------	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Figure 8: Disposition de cultivars dans l'étude de l'antibiose (nombre et poids des individus de pucerons formés)

Musetti et Neal (1997) ont estimé la résistance des cultivars des espèces de *Lycopersicum* au puceron *Macrosiphum euphorbiae* 7 jours après une infestation avec 5 femelles / plant.

Dans cette étude, au stade 5 à 6 feuilles, les 21 plants sont infestés par 84 larves du 4^{ème} stade, soit 4 larves par plant.

Chaque plant est protégé séparément par un manchon en mousseline pour éviter toute infestation externe et l'installation des auxiliaires. Après 20 jours de l'infestation, les insectes trouvés sur chaque plant sont comptés et pesés à l'aide d'une balance d'une précision de 0,0001g.

2.1.3.3.3- Evaluation de la résistance par tolérance

La tolérance indique la capacité d'une variété à se développer et à se reproduire en dépit de l'existence d'une population du ravageur identique à celle qui endommage une variété sensible (Appert et Deuse, 1982 cités par Khelfa, 2004).

La résistance d'un génotype à un ravageur c'est sa capacité à supporter, du point de vue développement et reproduction de la plante, des attaques de l'insecte qui entraîneraient une réduction significative de la croissance et de la production chez un génotype sensible (Clavel et Welcker, 1996 cités par Khelfa, 2004).

Une plante tolérante peut être colonisée par un ravageur au même degré que la plante sensible, mais elle n'exprime pas des pertes importantes dans la production du point de vue qualitatif et quantitatif (Cuartero *et al.*, 1999).

2.1.3.3.3.1- Mise en place de la culture

Dans une serre en verre d'une superficie de 32 m² placée au terrain expérimental du Département d'Agronomie de Batna, 22 graines de chaque cultivar ont été semées séparément dans de petits sacs en plastique. Les 154 sacs représentant les 7 cultivars sont disposés en 11 blocs randomisés.

2.1.3.3.3.2- Infestation des plants

Au stade 2 feuilles, 11 plants représentant chaque cultivar sont infestés par 110 larves d'*Aphis craccivora* (L₂ et L₃), soit 10 larves par plant. L'autre moitié des plants (11 plants) est retenue comme un témoin non infesté (figures 9 et 10). Après cette opération, l'ensemble des plants est couvert séparément par des manchons en mousseline.

2.1.3.3.3.3- Pesées et mensurations

En ce qui concerne le poids, les plants sont sectionnés au collet 10 jours après l'infestation. Au laboratoire, ils sont séchés dans une étuve à une température de 105°C pendant 24h.

La réduction du poids sec de la partie aérienne des plants est déterminée par la formule suivante:

$$Rp (\%) = ((PS_{ni} - PS_i) / PS_{ni}) \times 100,$$

dont PS_{ni} : poids sec des plants témoins (non infestés)

PS_i : poids sec des plants infestés (Frei *et al.*, 2004).

Pour déterminer la taille, il est procédé à la mensuration de la partie aérienne de chaque plant juste avant l'infestation et 10 jours après celle-ci.

La perte de la hauteur des plants est calculée de la manière suivante :

$$P H(\%) = ((GH_{ni} - GH_i) / GH_{ni}) \times 100,$$

où GH_i : gain d'hauteur des plants infestés, c'est la différence entre la hauteur avant et après l'infestation.

GH_{ni} : gain d'hauteur des plants non infestés (Frei *et al.*, 2004).

Pour évaluer la tolérance des plants d'*Aegilops neglecta* à *Rhopalosiphum padi*, Smith *et al.* (2004) ont travaillé presque de la même manière. Après 10 jours de l'infestation des plants au stade 3 feuilles avec 20 L₃, ils ont déterminé la hauteur, le poids frais et le poids sec de la partie aérienne des plants. Ils ont également déterminé la longueur et le poids sec des racines des plants infestés et non infestés.

148	133 t	140	118 t	133 t	148
133 t	133	143	120 t	3 t	148 t
148 t	118	120 t	3 t	148 t	143
133	148 t	140 t	148	118	120
120	3	148	148 t	140	140 t
3 t	120 t	143 t	3	120 t	118
120 t	3 t	133	143	143 t	3
143 t	143 t	120	133	3	120 t
143	148	148 t	140	120	133 t
118 t	143	118 t	118	118 t	140
140	140 t	118	133 t	143	143 t
140 t	120	3 t	140 t	140 t	3 t
118	118 t	133 t	143 t	133	133
3	140	3	120	148	118 t
Bloc	Bloc	Bloc	Bloc	Bloc	Bloc
6	7	8	9	10	12

148	133	148	120	143
118	3 t	148 t	3 t	143 t
148 t	140 t	143 t	120 t	118 t
143 t	118	3	133 t	140 t
140	143	140 t	140	120
133 t	148 t	3 t	140 t	148
120	140	120 t	148 t	148 t
143	118 t	118 t	143	140
120 t	143 t	120	3	120 t
133	133 t	133	133	118
140 t	120	118	118	3 t
118 t	120 t	133 t	118 t	133 t
3 t	3	143	148	3
3	148	140	143 t	133
Bloc	Bloc	Bloc	Bloc	Bloc
1	2	3	4	5

Figure 9: Disposition des cultivars dans l'étude de tolérance (t = témoin)



Figure 10: Disposition des plants dans l'étude de tolérance

2.1.3.4- Analyse statistique

Le test 't' et une analyse de variance (ANOVA) à un seul facteur avec un test de Student-Newman-Keuls ont été effectués pour la comparaison des résultats et la classification des groupes homogènes, en utilisant le logiciel statistique SPSS version 17.0. Ainsi, une analyse de corrélation partielle a été réalisée entre la taille des adultes et le nombre total d'embryons.

II-2 Résultats

2.2.1- Evaluation de la résistance en plein champ

L'estimation de l'importance numérique des colonies d'*Aphis craccivora* sur chacun des cultivars de fève testés a été retenue comme un critère d'évaluation de leur niveau de résistance.

62 cultivars, parmi les 77 semés initialement, qui ont été suffisamment développés (développement de plus de 2 plants), ont subi une infestation artificielle et ils ont été pris en considération.

Les résultats obtenus ont permis de répartir les 62 cultivars en 16 résistants, 7 tolérants, 4 sensibles et 26 très sensibles (tableau 4).

Il est à noter que seuls les cultivars qui ont été résistants d'une part et d'autre part ils ont présenté des caractéristiques agronomiques importantes, sont retenus pour une deuxième évaluation effectuée sous serre.

Tableau 4: Classement des cultivars de fève en 4 classes de résistance selon les degrés d'infestation par les pucerons en plein champ

Classes et niveaux d'infestation	Résistants ≤ 5 pucerons / plant	Tolérants 6-20 pucerons / plant	Sensibles 21-50 pucerons / plant	Très Sensibles Supérieur à 50 pucerons / plant
Cultivars	1-2-3-103-110-118- 120-125-126-131- 133-139-140-143- 148-155	102-111- 116-121- 123-141- 145	117-124- 134-137	9-10-11-12-13-19- 104-109-112-113- 114-115-119-127- 128-129-132-135- 136-142-149-150- 151-152-154-156

Concernant les caractères morphologiques (tableau 5), la hauteur moyenne des plants était maximale chez le cultivar 3 (38,9 cm) et minimale chez le cultivar 135 (14,3 cm). Le cultivar 12 a produit beaucoup de pousses ayant une hauteur dépassant la moitié de la hauteur de la tige principale, comparativement aux autres cultivars,

particulièrement, 9 et 11.

Tableau 5: Caractères morphologiques des cultivars de fève retenus dans cette étude

(*Légende* : **3**: hauteur de la plante (en cm) ; **4**: nombre des tiges dépassant la moitié de la longueur de la tige principale incluse ; **5**: nombre de nœuds jusqu'au premier nœud florifère inclus ; **6**: présence d'une pigmentation anthocyanique sur la tige ; **9**: longueur de la foliole de la paire basale au niveau du second nœud (en cm) ; **10**: largeur de foliole de la paire basale au niveau du second nœud (en cm) ; **11**: position de la largeur maximale de la foliole de la paire basale au niveau du second nœud (2 signifie que la largeur maximale est au milieu de la foliole) ; **13**: nombre de fleurs dans le 2^{ème} nœud florifère ; **15**: longueur de la fleur dans le 2^{ème} nœud florifère (en cm) ; **31**: poids de la graine sèche (en g) ; **33**: pigmentation noire du hile de la graine sèche ; **P** : présence)

Caractères Cultivars	3	4	5	6	9	10	11	13	15	31	33
1	29,42	2,25	4,75	P	4,80	2,17	2	2,33	2,90	0,5979	P
2	29,02	1,50	5,25	P	5,20	2,45	2	2,33	3,00	0,6622	P
3	38,90	2,75	5,25	P	5,43	2,83	2	2,50	3,30	1,2764	P
5	25,02	2,00	4,50	P	4,31	2,31	2	2,00	3,07	0,7835	P
9	22,50	1,00	3,25	P	4,00	2,67	2	2,50	2,45	0,9460	P
10	30,67	1,33	4,50	P	4,23	2,23	2	-	-	0,6660	P
11	18,77	1,00	5,00	P	4,22	1,90	2	1,33	3,10	0,5486	P
12	22,55	5,50	1,75	P	4,20	1,97	2	1,75	2,97	0,4283	P
13	22,95	2,00	5,33	P	4,10	1,85	2	-	-	0,7228	P
14	25,53	2,00	5,33	P	4,07	2,17	2	-	-	0,5723	P
19	22,43	1,25	2,50	P	2,97	1,67	2	1,00	3,05	0,3985	P
102	26,12	2,25	5,50	P	3,25	1,80	2	2,00	2,85	0,3041	P
103	31,25	2,75	5,00	P	4,15	2,60	2	3,00	3,32	1,6406	P
104	30,20	2,75	4,50	P	3,86	2,32	2	1,67	2,97	0,8621	P
105	30,42	1,50	5,00	P	4,05	2,17	2	3,00	2,97	1,4889	P
106	23,55	2,25	5,00	P	3,28	1,77	2	2,50	3,10	0,6953	P
109	24,35	1,75	5,00	P	3,59	1,95	2	1,25	3,05	0,6639	P
110	29,77	3,00	4,25	P	3,73	2,20	2	2,67	2,87	1,4453	P
111	23,13	1,50	5,00	P	3,27	1,55	2	1,00	2,45	0,6695	P
112	24,80	2,00	4,75	P	4,25	2,00	2	2,00	2,80	0,3684	P
113	25,35	2,25	4,25	P	3,17	1,82	2	1,67	2,43	0,4606	P
114	30,47	2,67	4,75	P	4,77	2,45	2	2,00	3,07	0,5618	P
115	26,07	2,00	5,50	P	4,24	2,06	2	1,50	3,32	0,9257	P
116	27,80	2,00	6,25	P	3,77	1,96	2	2,00	3,00	0,7666	P
117	29,40	2,25	4,25	P	4,96	2,67	2	2,00	3,03	1,3674	P
118	30,15	4,00	4,00	P	5,19	2,39	2	1,75	3,12	0,8813	P
119	28,10	1,75	5,25	P	4,84	2,31	2	2,00	3,52	0,5741	P
120	26,90	1,75	5,50	P	4,55	2,10	2	1,67	3,20	0,5478	P

Tableau 5 (suite)

121	28,70	2,75	5,00	P	5,57	2,27	2	1,50	3,20	0,7245	P
123	26,85	2,00	4,75	P	4,19	1,96	2	1,25	3,12	0,6734	P
124	24,33	1,75	4,25	P	4,70	2,34	2	1,50	3,23	0,8593	P
125	29,10	3,00	4,75	P	3,92	2,57	2	2,50	3,30	0,7225	P
126	21,27	2,67	4,33	P	3,93	1,85	2	1,00	3,00	0,5737	P
127	20,85	2,00	5,00	P	4,17	2,08	2	1,50	3,55	0,3748	P
128	19,00	1,75	5,25	P	3,52	1,82	2	2,00	3,13	1,1469	P
129	27,10	2,50	4,75	P	4,56	2,27	2	1,50	3,10	0,7438	P
130	22,00	2,75	4,75	P	4,62	1,95	2	1,00	2,55	0,7091	P
131	33,12	2,25	5,50	P	4,42	2,47	2	2,33	3,07	0,9979	P
132	28,22	1,50	4,50	P	4,92	2,82	2	2,33	3,40	0,0934	P
133	26,00	2,75	4,25	P	4,09	2,24	2	3,33	3,27	0,4948	P
134	19,40	1,25	6,25	P	4,26	1,89	2	1,33	2,87	0,4186	P
135	14,30	2,25	5,25	P	3,20	1,63	2	1,33	3,07	0,4646	P
136	27,12	3,25	4,50	P	6,47	2,24	2	2,00	2,82	0,5946	P
137	15,87	2,00	4,25	P	3,27	1,72	2	1,67	2,87	0,8042	P
138	19,02	1,75	4,00	P	3,25	1,77	2	1,75	3,05	0,6785	P
139	29,83	1,75	4,50	P	5,07	2,37	2	-	-	0,0851	P
140	28,92	2,50	4,00	P	5,60	2,66	2	1,75	2,95	1,1487	P
141	26,00	2,50	4,00	P	5,17	2,29	2	1,00	3,22	1,0875	P
142	20,97	2,00	4,75	P	4,72	2,61	2	2,75	3,20	0,2853	P
143	28,75	2,25	5,75	P	5,45	3,32	2	1,25	3,15	0,8767	P
144	14,57	1,25	4,25	P	3,47	1,57	2	1,50	2,95	0,6692	P
145	30,04	2,75	3,50	P	5,20	2,37	2	2,33	3,00	0,4439	P
147	24,07	2,25	4,25	P	5,12	2,34	2	1,75	2,82	0,7244	P
148	28,43	2,75	5,50	P	5,22	2,57	2	2,00	2,93	0,7345	P
149	18,62	1,25	6,75	-	3,75	1,58	2	1,50	2,45	0,6731	P
150	26,10	2,00	4,25	P	5,47	2,27	2	2,00	3,27	0,7044	P
151	25,75	3,00	4,50	P	5,03	2,60	2	2,00	2,67	1,2266	P
152	27,60	4,50	1,67	P	3,80	1,99	2	2,50	3,37	1,1701	P
154	29,55	2,00	5,33	P	4,87	2,82	2	3,00	3,10	1,0519	-
155	26,17	1,75	5,25	P	3,70	2,00	2	1,75	2,57	1,4859	P
156	21,47	2,25	4,75	P	3,87	2,07	2	1,50	2,95	1,2204	P
157	31,35	2,33	5,67	P	4,62	2,67	2	2,33	3,17	0,8204	P

Le poids moyen de la graine était compris entre 0,0851 chez le cultivar 139 et 1,6406 g pour le cultivar 103. La longueur et la largeur de la foliole de la paire basale

du second nœud florifère ont présenté une grande différence entre les cultivars étudiés. La longueur était comprise entre 2,97 et 6,47 cm et la largeur entre 1,55 et 3,32 cm.

D'une façon générale, les cultivars ont une pigmentation anthocyanique sur la tige, et une pigmentation noire du hile de la graine sèche. La position de la largeur maximale de la paire basale de la foliole au niveau du second nœud florifère est au milieu.

En utilisant le test 't', pour comparer un groupe de cultivars résistants (120, 131, 140 et 143) et un autre de ceux très sensibles (9, 104, 114 et 156) du point de vue morphologique, aucune différence significative n'a été détectée pour les caractères 3, 4, 5, 9, 10, 13 et 15 (tableau 6).

Tableau 6: Comparaison morphologique entre des cultivars résistants et autres très sensibles

Caractères	Cultivars	Moyenne ± écart-type	Probabilité
Hauteur de la plante	Cultivars résistants	29,42 ± 2,63	0,27
	Cultivars très sensibles	26,16 ± 4,84	
Nombre des tiges dépassant la moitié de la longueur de la tige principale incluse	Cultivars résistants	2,19 ± 0,31	0,97
	Cultivars très sensibles	2,17 ± 0,81	
Nombre des nœuds jusqu'au premier nœud florifère inclus	Cultivars résistants	5,19 ± 0,80	0,28
	Cultivars très sensibles	4,31 ± 0,72	
Longueur de la foliole de la paire basale au niveau du second nœud	Cultivars résistants	5 ± 0,61	0,15
	Cultivars très sensibles	4,12 ± 0,43	
Largeur de la foliole de la paire basale au niveau du second nœud	Cultivars résistants	2,64 ± 0,51	0,31
	Cultivars très sensibles	2,38 ± 0,25	
Nombre des fleurs dans le 2 ^{ème} nœud florifère	Cultivars résistants	1,75 ± 0,44	0,68
	Cultivars très sensibles	1,92 ± 0,44	
Longueur de la fleur dans le 2 ^{ème} nœud florifère	Cultivars résistants	3,09 ± 0,11	0,25
	Cultivars très sensibles	2,86 ± 0,28	

Sur la base des résultats obtenus lors de la première évaluation effectuée en plein champ, 7 cultivars sont retenus pour la deuxième évaluation effectuée sous serre. Il s'agit des cultivars **3, 118, 120, 133, 140, 143 et 148**.

2.2.2- Résistance sous serre

2.2.2.1- Antixénose

L'attractivité des adultes aptères du puceron noir de la luzerne (figure 11) après 72 h de l'infestation n'est pas significativement différente entre les cultivars (P supérieure à 0,05) bien qu'une certaine distribution hétérogène des insectes a été constatée (figure 13). Après 72 h de l'infestation, la valeur maximale de l'attractivité des adultes est obtenue sur le cultivar 148 (9,33 aptères), tandis que le nombre minimal de pucerons installés a été observée sur le cultivar 3 (4,83 aptères).

Le nombre d'insectes installés sur tous les cultivars a connu une augmentation dans le temps (tableau 7).

Tableau 7: Nombre d'aptères *A. craccivora* installés sur les cultivars de fève étudiés

Temps \ Cultivars	2h	24h	48h	72h
3	1,33 ± 1,21	4,17 ± 3,12	4,67 ± 3,61	4,83 ± 3,25
133	1,00 ± 0,89	4,50 ± 1,38	5,83 ± 1,83	6,17 ± 2,48
143	2,00 ± 1,79	6,17 ± 2,32	7,50 ± 1,64	7,33 ± 2,34
118	2,50 ± 2,59	6,50 ± 1,38	7,50 ± 2,66	7,67 ± 2,07
140	1,83 ± 0,98	4,83 ± 2,86	7,50 ± 4,42	8,33 ± 5,05
120	3,00 ± 3,22	6,50 ± 4,18	7,33 ± 3,98	8,83 ± 4,31
148	2,50 ± 1,38	6,50 ± 4,23	7,17 ± 4,62	9,33 ± 5,05
Probabilité	0,56	0,62	0,71	0,39

Les valeurs représentent la moyenne ± écart-type

La figure 14 et le tableau 8 exposent la distribution des ailés (figure 12), qui est variable entre les cultivars sans qu'il y a une différence significative. Le cultivar 148 est le plus attractif que les autres durant les 4 comptages. Son attractivité est passée de 5,2 au premier comptage à 10,4 ailés après 48 heures. A l'opposé, le cultivar 120 a montré la moindre attractivité (entre 0,6 et 1,6 ailés).



Figure 11: Aptère d'*A. craccivora*
(photo originale)



Figure 12: Ailé d'*A. craccivora*
(photo originale)

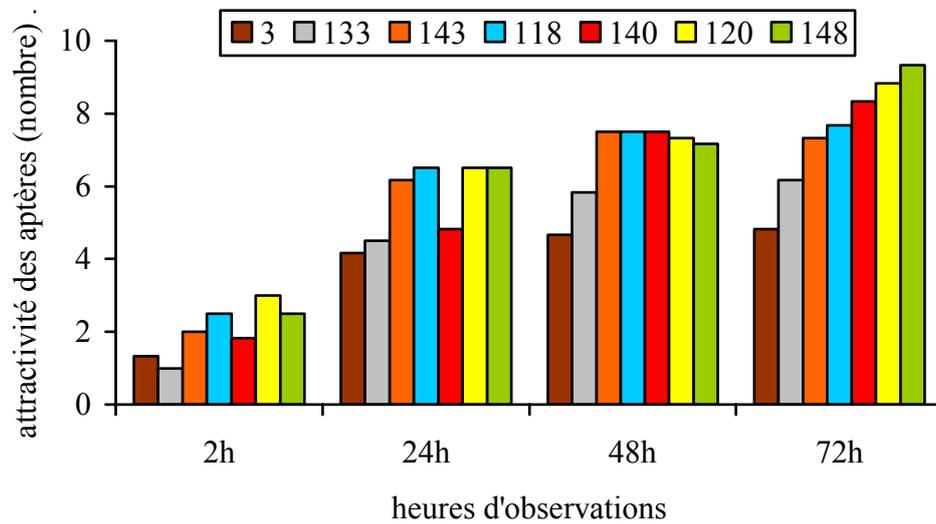


Figure 13: Attractivité des aptères d'*A. craccivora* par les différents cultivars

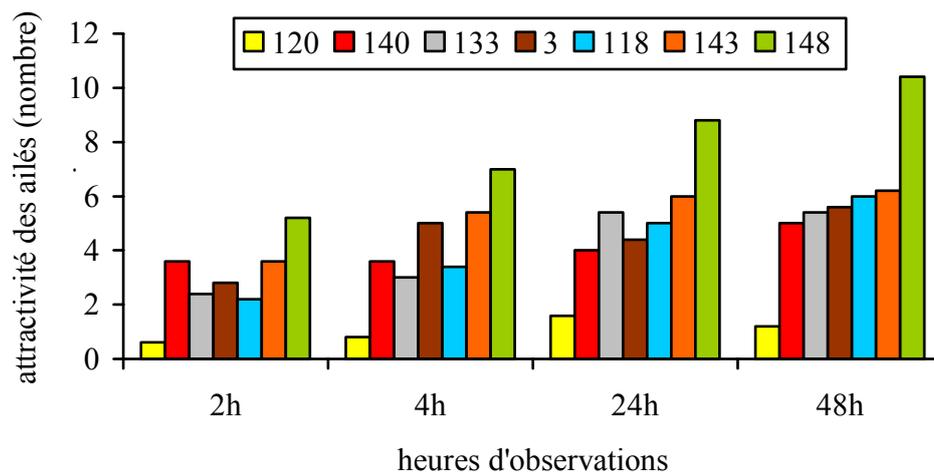


Figure 14: Distribution des ailés *A. craccivora* sur les différents cultivars

Tableau 8: Attractivité des ailés d'*Aphis craccivora* par les différents cultivars

Temps Cultivars	2h	4h	24h	48h
120	0,60 ± 0,89	0,80 ± 0,84	1,60 ± 2,07	1,20 ± 1,30
140	3,60 ± 2,70	3,60 ± 3,58	4,00 ± 3,74	5,00 ± 3,87
133	2,40 ± 2,88	3,00 ± 2,55	5,40 ± 4,56	5,40 ± 3,85
3	2,80 ± 2,17	5,00 ± 3,16	4,40 ± 3,21	5,60 ± 2,51
118	2,20 ± 1,64	3,40 ± 4,34	5,00 ± 4,47	6,00 ± 5,00
143	3,60 ± 4,34	5,40 ± 4,34	6,00 ± 4,64	6,20 ± 6,22
148	5,20 ± 7,33	7,00 ± 7,42	8,80 ± 7,40	10,40 ± 8,99
Probabilité	0,62	0,37	0,36	0,25

Les valeurs représentent la moyenne ± écart-type

2.2.2.2- Antibiose

Les résultats des tests d'antibiose ont montré une différence significative de la fécondité potentielle et une différence non significative de la taille des adultes élevés sur les 7 cultivars (tableau 9).

Les pucerons élevés sur les 7 cultivars étudiés ont exprimé une taille comprise entre 1,29 et 1,44 mm. Par ailleurs, les pucerons élevés sur le cultivar 140 sont les plus fertiles (21,33 embryons) comparativement à ceux élevés sur le cultivar 148 (11,33 embryons).

Tableau 9: Nombre d'embryons (Fécondité potentielle) et taille des adultes d'*A. craccivora* sur les 7 cultivars de fève

Cultivars	Taille (mm)	Nombre total d'embryons
118	1,29 ± 0,27	18,33 ± 4,51
133	1,26 ± 0,16	13,67 ± 2,52
3	1,36 ± 0,16	13,33 ± 6,43
140	1,44 ± 0,14	21,33 ± 2,52
120	1,41 ± 0,12	17,67 ± 0,58
148	1,32 ± 0,09	11,33 ± 2,31
143	1,30 ± 0,05	17,00 ± 1,73
Probabilité	0,759	0,041

Les valeurs représentent la moyenne ± écart-type

L'analyse de la corrélation entre la taille des adultes et le nombre total d'embryons n'a montré aucune relation entre ces deux paramètres (tableau 10) et P est égale à 0,214.

Tableau 10: Corrélation entre la taille d'adultes et le nombre total d'embryons

Caractères	Taille des adultes
Nombre total d'embryons	0,188

Le nombre d'individus le plus élevé est enregistré sur les cultivars 140 (26,67 individus) et 143 (18 individus), mais sans qu'il y a une différence significative ($F_{6,14} = 0,987$). Tandis que, le nombre le plus bas a été noté sur le cultivar 118 (tableau 11).

La masse finale des insectes est significativement ($F_{6,7} = 7,040$) élevée sur les cultivars 140 (4,6 mg) et 143 (4,3 mg) par rapport aux cultivars 118 (1,6 mg) et 133 (1,9 mg) (tableau 11).

Tableau 11: Nombre et poids des individus d'*A. craccivora* trouvés sur les 7 cultivars de fève étudiés

Cultivars	Nombre	Poids (mg)
118	14,00 ± 2,65	1,60 ± 1,13 a
133	17,67 ± 5,03	1,90 ± 0,14 a
3	15,67 ± 7,37	2,50 ± 0,42 ab
120	14,33 ± 9,45	2,55 ± 0,35 ab
148	17,67 ± 8,62	2,70 ± 0,00 ab
143	18,00 ± 7,21	4,30 ± 0,99 b
140	26,67 ± 9,29	4,60 ± 0,14 b
Probabilité	0,470	0,011

Les valeurs représentent la moyenne ± écart-type, la lettre correspond au classement des cultivars

2.2.2.3- Tolérance

L'analyse de variance a montré que les différents cultivars réagissent différemment à l'infestation. Les différences de poids sec ($F_{6,35} = 2,755$) et de la

hauteur sont significatives ($F_{6,42} = 10,931$) entre les 7 cultivars.

Chez les cultivars de fève 120 et 3, la réduction du poids sec était de l'ordre de 41,07 et 37,87 % respectivement. Chez le cultivars 143, cette réduction n'a pas dépassée 16,57 % (tableau 12 et figure 15).

En ce qui concerne la taille, la différence entre les plants infestés et non infestés est comprise entre 18,22 % pour le cultivar 143, et 51,43 % pour le cultivar 120 (Figures 16 et 17).

Tableau 12: Différences du poids sec et de la hauteur entre les plants infestés et non infestés des cultivars de fève étudiés

Cultivars	Réduction du Poids Sec (%)	Perte de la Hauteur (%)
143	16,57 ± 13,48 a	18,22 ± 6,75 a
133	28,43 ± 18,07 ab	18,58 ± 14,34 a
140	29,82 ± 12,79 ab	32,60 ± 10,83 b
3	41,07 ± 6,57 b	37,98 ± 14,55 bc
118	32,61 ± 13,6 ab	44,74 ± 9,63 bc
148	29,33 ± 3,11 ab	49,20 ± 10,32 c
120	37,87 ± 5,46 b	51,43 ± 7,76 c
Probabilité	0,027	0,000

Les valeurs représentent la moyenne ± écart-type, la lettre correspond au classement des cultivars

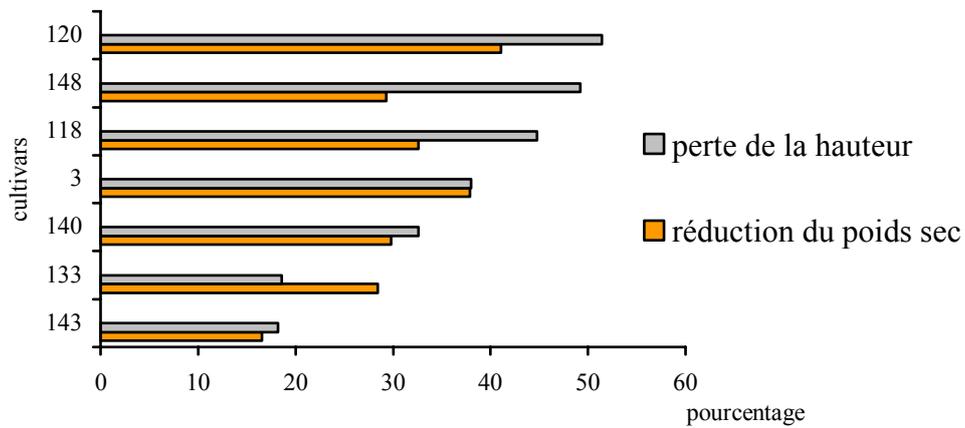


Figure 15: Perte de la hauteur et réduction du poids sec des 7 cultivars de fève



Figure 16: Différence de taille entre un plant non infesté (à gauche) et un plant infesté (à droite) du cultivar 143



Figure 17: Différence de taille entre un plant non infesté (à gauche) et un plant infesté (à droite) du cultivar 120

II-3- Discussions

2.3.1- Evaluation de la résistance en plein champ

Les relations aphide-hôte sont compliquées, conduisant à des difficultés dans l'estimation de la résistance (Klinghauf, 1982 cité par Bond *et al.*, 1994).

Plusieurs travaux sont déjà effectués sur la résistance de la fève aux pucerons. En utilisant des échelles de résistance basées sur le nombre d'insectes trouvés sur les plantes, El-Defrawi *et al.* (1991) ont pu sélectionner 114 cultivars de fève résistants à *Aphis craccivora* parmi les 7156 cultivars étudiés pendant quatre ans en Egypte. De sa part, Khelfa (2004) a constaté que parmi les 48 cultivars de fève collectés à partir de plusieurs localités appartenant à la région de Biskra, 5 ont montré un certain niveau de résistance à *A. craccivora* après des testes réalisés en plein champ. En Egypte ainsi, plus de 1000 lignées ont été évaluées et 36 ont été classées comme résistantes (Bond *et al.*, 1994).

Dans le présent travail, plusieurs cultivars se sont montrés résistants lors de l'étude au champ. Parmi ceux-ci, 7 sont retenus pour une 2^{ème} évaluation effectuée sous serre.

Cependant, plusieurs facteurs peuvent intervenir sur les résultats en plein champ. Parmi ceux-ci, il y a lieu de citer le biotype du puceron utilisé lors de l'infestation artificielle des plants, l'âge des plants au moment de l'infestation et du comptage. Par ailleurs, il est à signaler que les plants cultivés en plein champ n'ont été pas couverts, ce qui facilite l'arrivée des ailés émigrants et leur atterrissage sur les cultivars les plus attractifs.

La résistance du même plant peut changer en fonction du stade de développement. Après une étude réalisée par Huggett *et al.* (1999), ils ont constaté que les aptères du puceron vert du maïs *Rhopalosiphum maidis* élevés sur des plants de *Miscanthus sinensis* se trouvant au stade 2 feuilles sont significativement moins féconds en comparaison avec ceux élevés sur des plants au stade 5 feuilles. Identiquement, des jeunes feuilles de certains génotypes de *Solanum* spp. étaient

résistantes à *Myzus persicae*, alors que les feuilles sénescents étaient sensibles (Alvarez *et al.*, 2006). Il est noté également, que la résistance de certaines graminées ne se manifeste qu'à partir d'un stade avancé du développement de la plante (Smith, 2005).

Clancy *et al.* (1995) cités par Larsson (2002) ont mis en évidence qu'il y a beaucoup de variations dans la concentration de certains métabolites primaires au sein de la même espèce en fonction des stades phénologiques. Par exemple, la concentration des protéines diminue et celle du tanin augmente lorsque les feuilles du chêne mûrissent et deviennent dures (Feeny, 1970 cité par Larsson, 2002). Ainsi, il y a une variation considérable du point de vue qualitatif et quantitatif des métabolites secondaires entre les plantes de différents âges (Fritz *et al.*, 2001 cités par Larsson, 2002).

Les métabolites primaires et secondaires, les facteurs physiques et la phénologie sont des caractéristiques des plantes qui peuvent influencer la préférence et la performance des insectes (Larsson, 2002).

Tayo (1989) ; Koonen *et al.* (2002) cités par Edwards et Singh (2006) ont signalé que la résistance de la luzerne à certains ravageurs s'attaquant à la gousse est corrélée avec des caractères morphologiques, entre autres, l'épaisseur de l'enveloppe, la longueur du pédoncule et la localisation de la graine au sein de cette gousse.

En ce qui concerne les caractères morphologiques retenus dans cette étude, il est remarqué une ressemblance dans plusieurs caractères comme la hauteur des plantes et la présence de la pigmentation anthocyannique sur la tige, entre des cultivars résistants et très sensibles. Il se peut que d'autres caractères qui n'ont été pas quantifiés dans cette étude, ont un rôle dans cette différence dans le niveau de résistance entre les cultivars. Ces caractères peuvent être d'ordre morphologique, comme l'épaisseur de la cire, ou d'ordre chimique, tels que la présence de certains métabolites secondaires et la valeur nutritionnelle de la sève.

Au sein d'une espèce végétale, les composants varient qualitativement et quantitativement (Bernays et Chapman, 1994).

La qualité nutritionnelle est parmi les facteurs qui déterminent l'exposition des plantes aux insectes phytophages (Bernays et Weislo, 1994 cités par Wilkinson et Douglas, 2003). La nutrition a une importance dans le développement et la reproduction des aphides. La composition en éléments nutritifs et en sucres peut contribuer à la résistance aux pucerons.

Kashyap *et al.* (1988) cités par Khelfa (2004) ont remarqué que le taux de phosphore le plus élevé caractérise les cultivars de pomme de terre résistants à *Myzus persicae*.

Plusieurs composants produits par les plantes affectent le comportement, la physiologie et le métabolisme des aphides, et par conséquence, ils peuvent réduire les populations d'aphides sur les plantes résistantes (Goławska, 2007).

Les composants métaboliques secondaires des plantes sont des bases biochimiques importantes dans la résistance des plantes contre les insectes (Cai *et al.*, 2004). Les alcaloïdes lupanine et 1-hydroxylupanine dans *Lupinus angustifolius* ont été impliqués dans la résistance du lupin à *Myzus persicae* (Berlandier 1996 cité par Smith, 2005). Ainsi, les glucosinolates et leurs produits décomposés sont impliqués dans la défense des plantes contre une large variété d'ennemis potentiels des plantes. Les isothiocyanates sont les produits prédominants de la décomposition des glucosinolates, et ils sont toxiques pour certains herbivores (Wittstock *et al.*, 2003 cités par van Leur *et al.*, 2008). Le 2-Phényléthyl isothiocyanate, par exemple, affecte négativement certains polyphages tels que les mouches, les aphides et les acariens (Lichtenstein *et al.*, 1962 cités par van Leur *et al.*, 2008).

Parmi les composants associés avec la défense des plantes contre les insectes, les enzymes phénylalanine ammonia-lyase, polyphénol oxydase, et peroxydase (Felton *et al.*, 1992 ; Stout *et al.*, 1999 ; Chaman *et al.*, 2001, 2003 ; Ni *et al.*, 2001 cités par Han *et al.*, 2009). Phénylalanine ammonia-lyase, par exemple, transforme le phénylalanine en acide trans-cinnamic. Ce dernier peut être de plus hydroxylé et méthylé pour produire des composants qui sont toxiques pour des herbivores et des pathogènes (Cole, 1984 ; Leszczynski *et al.*, 1989 ; Verpoorte et Alfermann, 2000 ;

Morelló *et al.*, 2005 ; Wang *et al.*, 2006 cités par Han *et al.*, 2009). Cole (1984 cité par Han *et al.*, 2009) a démontré que l'activité de phénylalanine ammonia-lyase est reliée avec la résistance de la laitue à l'égard du puceron *Pemphigus bursarius*.

Les substances qui ont un rôle dans la résistance aux insectes peuvent être constitutives ou induites ou encore présentes dans les plantes mais leurs quantités augmentent après l'attaque d'un insecte.

Les cultivars du blé résistants au puceron des épis *Sitobion avenae* ont montré une activité constitutive de phénylalanine ammonia-lyase plus importante que celle des cultivars sensibles durant quelques stades phénologiques (Han *et al.*, 2009). Ces mêmes auteurs ont constaté que l'infestation par ce puceron a augmenté le niveau de phénylalanine ammonia-lyase dans les cultivars résistants et sensibles.

2.3.2- Etude des mécanismes de résistance sous serre

2.3.2.1- Antixénose

Chez les pucerons, la sélection d'une plante hôte peut être divisée en plusieurs étapes: la *localisation* de l'hôte (Ameline *et al.*, 2007) où les signaux visuels et olfactifs ont un rôle (Storer et van Emden, 1995), tandis que l'*acceptation* de l'hôte implique des stimuli olfactifs, gustatifs et mécaniques (Ameline *et al.*, 2007). Le processus de découverte de sources de nourriture chez les aphides implique les étapes séquentielles suivantes : (1) orientation vers une plante, (2) examination externe, (3) piqûre d'épreuve à travers les tissus de la plante, (4) perçant vers le phloème et (5) ingestion (Pollard, 1973 ; Klingauf, 1987 ; Montllor, 1991 cités par Takemura *et al.*, 2006).

Les pucerons possèdent une capacité sophistiquée de reconnaître une large variété de composants volatiles des plantes en utilisant des neurones des récepteurs olfactifs logés dans les sensilles localisés sur les antennes (Visser *et al.*, 1996 cités par Webster *et al.*, 2008). Il y a deux types de sensilles olfactifs : rhinaria primaires et secondaires (Bromley *et al.*, 1979, 1980 cités par Webster *et al.*, 2008). Au niveau des rhinaria primaires se trouvent les neurones des récepteurs olfactifs qui sont utilisés

dans la détection des volatiles des hôtes et utilisés dans la détection de volatiles de non-hôtes qui peuvent agir comme dissuadants (Nottingham *et al.*, 1991 ; Isaacs *et al.*, 1993 cités par Webster *et al.*, 2008). Donc, la localisation de l'hôte en utilisant les médiateurs olfactifs est la combinaison de reconnaissance de l'hôte et l'action d'éviter la plante non-hôte (Webster *et al.*, 2008).

Apparemment, l'opération de la pénétration des stylets des aphides dépend de l'évaluation sensorielle d'un certain nombre de caractères. Parmi ceux-ci, la couleur, la texture et les substances phytochimiques volatiles et non volatiles (Powell *et al.*, 1999). Le comportement de piqûre d'épreuve des aphides, qui implique des crevaisons de cellules avant l'atteinte des éléments de la sève, est une étape importante dans le processus d'acceptation de la plante hôte (Pickett *et al.*, 1992 ; Tjallingii et Hogen Esch, 1993 ; Prado et Tjallingii, 1999 cités par Ameline *et al.*, 2007). Après l'atterrissage, les pucerons insèrent leurs stylets dans les cellules épidermiques pour des piqûres brèves, en utilisant des sensilles particuliers pour évaluer la chimie interne de la plante (Harris, 1977 cité par Ameline *et al.*, 2007).

Le comportement d'alimentation d'*A. craccivora* a été comparé entre une variété résistante et une autre sensible de *Lupinus angustifolius* (Zehnder *et al.*, 2001). Les auteurs ont indiqué que sur la variété résistante, les aphides ont passé une durée significativement plus longue dans la phase de non pénétration, et de contact des stylets avec les tissus, par contre la phase de prise d'éléments de sève était plus courte en comparaison avec la variété sensible.

Plusieurs auteurs, entre autres, Bosland et Ellington (1996) ; McLoed *et al.* (1991) ont étudié le mécanisme d'antixénose chez différentes espèces végétales à l'égard des insectes.

La modification du comportement de sélection d'une plante hôte peut se produire suite à des piqûres d'essai. Ces réponses comportementales des aphides à l'égard des plantes hôtes peuvent être extrêmement variables (Ameline *et al.*, 2007). Les changements qui se déroulent dans les plantes après un endommagement par des ravageurs peuvent soit augmenter ou diminuer la résistance des plantes (Cuartero *et al.*, 1999).

Le nombre d'insectes installés sur la plupart des cultivars de fève étudiés a connu une augmentation dans le temps. Cette augmentation est probablement due à l'attraction des insectes vers des substances émises après la blessure des plants.

Une attraction vers les plantes précédemment infestées par des conspécifiques a été observée pour *A. craccivora* (Pettersson *et al.*, 1998 cités par Ameline *et al.*, 2007). Ainsi, les petits plants de pomme de terre ont devenus attractifs à *Leptinotarsa decemlineata* lorsqu'ils sont endommagés (Bolter *et al.*, 1997). Les plantes répondent à l'alimentation d'herbivore à travers l'augmentation de la biosynthèse et l'émission de composants volatiles à partir de tissus endommagés (Paré et Tumlinson 1997, 1999 cités par Carroll *et al.*, 2008).

Des néonates de *Cydia pomonella* (Lepidoptera : Tortricidae) préfèrent les odeurs de pommes endommagées que celles des fruits non endommagés, à cause de la libération de quantités élevées d'attractifs olfactifs, tels que α -farnescene, qui augmentent la détectabilité (Landolt *et al.*, 2000 cités par Carroll *et al.*, 2006, 2008).

Ainsi, des agrégations d'*Aphis fabae* peuvent possiblement induire et maintenir une qualité nutritionnelle améliorée dans leur site d'alimentation comparativement avec le reste de la plante (Dixon et Wratten, 1971 ; Hayamizu, 1984 cités par Prado et Tjallingii, 1997).

Le nombre d'ailés installé sur le cultivar 3 a baissé entre les comptages de 4 et 24h. Le nombre d'ailés installé sur le cultivar 120 a connu également une réduction entre les comptages de 24 et 48h. Ces réductions peuvent être dues à des caractères morphologiques ou à certaines substances, tels que les composés de la cire rencontrés par l'insecte après son installation sur la plante.

Des barrières internes qui se trouvent au niveau des tissus de la plante peuvent également intervenir pour limiter ou empêcher la pénétration des stylets des aphides vers le phloème (Cuartero *et al.*, 1999).

Les cires de la surface des plantes sont des mélanges complexes d'acides gras,

d'esters, d'alkanes et qui contiennent aussi des quantités variables de nombreux métabolites secondaires. La morphologie et la composition de la cire des plantes changent en fonction des stades phénologiques (Bernays et Chapman, 1994). Sheferd *et al.* (2000), cités par Khelfa (2004), ont mentionné que la composition de la cire foliaire du framboisier a un rôle important dans la résistance et la sensibilité à l'égard du puceron *Amphorophora idaei*. La composition des lipides épicuticulaires peut avoir un rôle dans la résistance des plantes aux pucerons. Powell *et al.* (1999) ont noté que l'analyse chimique des lipides épicuticulaires a révélé la présence d'un complexe de composants qui couvre le feuillage de la fève.

Par ailleurs, l'alimentation des pucerons à partir d'une plante peut induire une résistance. Durant cette phase d'alimentation, les aphides sécrètent rapidement une salive gaine et une salive digestive aqueuse. La salive gaine est composée principalement de protéines, de phospholipides et de carbohydrates conjugués. La salive digestive aqueuse est un mélange compliqué d'enzymes et d'autres composants qui peuvent provoquer des signaux de défense de la plante (Hori, 1976 ; Baumann et Baumann, 1995 ; Urbanska *et al.*, 1998 ; Miles, 1999 cités par Smith et Boyko, 2007). Certains composants organiques volatiles émis après l'alimentation de l'insecte peuvent servir comme répulsifs contre l'insecte attaquant, ou comme attractifs pour les ennemis des insectes attaquants (Kessler et Baldwin, 2001 cités par Chen, 2008).

À travers les 2 expériences d'antixénose, le cultivar 148 s'est montré le plus attirant pour *A. craccivora*. En plus de son attractivité aux adultes, le nombre de larves déposées après 72h par les aptères et après 48h par les ailés installés sur le cultivar 148 est plus élevé (18 et 8,6 larves respectivement) comparativement aux autres cultivars. Il se peut que le cultivar 148 émette des substances attractives pour *A. craccivora*, qui peuvent être actives seules ou en synergie.

L'attractivité peut impliquer l'odorat ou la vision ou tous les deux à la fois (Bernays et Chapman, 1994). Webster *et al.* (2008) ont étudié les réponses comportementales et électrophysiologiques des ailés d'*Aphis fabae* aux volatiles de la fève (var. Sutton dwarf). Ils ont rendu compte que 15 substances sémiochimiques sont impliquées dans la localisation de l'hôte par le puceron.

Le cultivar 148 peut aussi posséder des substances phagostimulantes et une bonne qualité nutritionnelle.

Il a été démontré que les substances primaires et secondaires sont importantes dans l'acceptation ou le refus d'une plante comme hôte pour les aphides (Kennedy et Booth, 1951 ; Nault et Styer, 1972 ; Van Emden, 1972 ; Klingauf, 1987 cités par Takemura *et al.*, 2006). Des signaux phytochimiques spécifiques de l'hôte qui stimulent le comportement d'alimentation des pucerons ont été mentionnés dans plusieurs cas: l'alcaloïde sparteine pour *Acyrtosiphon spartii* (Smith, 1966 cité par Takemura *et al.*, 2006), phlorizine pour *Aphis pomi* (Klingauf, 1971 cité par Renard *et al.*, 1998), et sinigrine pour le puceron cendré du chou (Gabrys *et al.*, 1997).

D'un autre côté, certaines substances ont un rôle dans la stimulation de l'oviposition de certains insectes. Dans une étude sur les composants chimiques de la cire épicuticulaire des feuilles de maïs (*Zea mays*) et l'oviposition d'*Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera : Pyralidae), Udayagiri et Mason (1997) ont indiqué que cinq *n-alkanes* ont induit des réponses d'oviposition. Egalement, Morris *et al.* (2008) ont noté également l'extraction à partir du tournesol *Helianthus annuus* de 2 diterpénoïdes qui fonctionnent comme des stimulants d'oviposition pour les femelles de *Cochylis hospes* (Lepidoptera : Cochylidae).

Il est remarqué que peu de pucerons aptères sont installés sur le cultivar 3 (4,83 individus) après 72h de l'infestation. Il est observé également que le nombre de larves déposées n'a pas dépassé 9,67 larves. Le cultivar 120 a exercé une attractivité très faible sur les ailés du puceron noir de la luzerne. Il se peut que les cultivars 3 et 120 ont des substances répulsives pour les aptères et les ailés d'*A. craccivora*.

Les plantes résistantes aux arthropodes peuvent posséder des substances phytochimiques spécifiques qui repoussent ou qui empêchent les herbivores de se nourrir ou de pondre (Smith, 2005). Barbosa et Krischik (1987) et Miller et Hanson (1989), cités par Shields *et al.* (2008), ont montré que les plantes qui contiennent des alcaloïdes sont les moins préférées par les larves de *Lymantria dispar*.

2.3.2.2- Antibiose

Plusieurs paramètres ont été utilisés pour étudier la résistance des plantes

contre les insectes, entre autres la taille (Tomooka *et al.*, 2000), le nombre ou la densité des insectes (Rat-Morris, 1990 ; Fuentes-Contreras et Niemeyer, 2000), et le poids des adultes aptères (Anna *et al.*, 1997).

L'antibiose fait intervenir des moyens de défenses physiques et chimiques, qui peuvent être classés soit comme constitutifs ou induits (Berryman, 1988 cité par Morewood *et al.*, 2004). Les substances allélochimiques, et les barrières physiques et morphologiques sont des éléments de défenses des plantes qui peuvent contribuer à l'antibiose (Smith, 2005).

Le niveau d'antibiose est souvent lié à la composition quantitative et qualitative des composants nutritionnels et allélochimiques des tissus de la plante hôte. Dans de nombreux cas, la convenabilité ou la non convenabilité dépend plutôt des métabolites primaires qui sont essentiels pour la croissance et la reproduction normales de l'insecte (Fraenkel, 1969 ; Norris, 1986 ; Rosenthal, 1986 cités par Leszczynski *et al.*, 1989).

Les glycoalcaloïdes ont un rôle très important en matière de résistance contre les différents insectes (Lachman *et al.*, 2001 cité par Khelfa, 2004). Ainsi, le cultivar 'Radius' de la luzerne *Medicago sativa*, résistant à *Acyrtosiphon pisum*, contient un niveau plus élevé en saponines et une moyenne très basse des concentrations de flavonoïdes comparativement au cultivar sensible 'Sapko' (Golawska *et al.*, 2008). Les acides organiques dans les plantes résistantes aux arthropodes ont des effets antibiotiques (Smith, 2005). Par exemple, DIMBOA et 6-MBOA ont des effets antibiotiques à l'égard du puceron *Metopolophium dirhodum* (Argandona *et al.*, 1980 cités par Smith, 2005).

L'antibiose peut être exprimé par une taille réduite (Tolmay *et al.*, 1999). La taille moyenne d'*A. craccivora* la plus importante dans la présente étude, est enregistrée sur le cultivar 143 (1,73 mm). Khelfa (2004) a mentionné que la taille d'*A. craccivora* était très faible sur le cultivar de fève résistant V51 (1,84 mm). Les différences entre les tailles des adultes d'*A. craccivora* sont éventuellement dues aux différences dans le contenu de la sève en acides aminés.

Chez les aphides, la taille des adultes dépend de certains facteurs, entre autres le niveau d'amino-nitrogène (Chambers, 1979 cité par Leather et Wellings, 1981). Une étude sur la richesse du phloème en acides aminés, a montré que la croissance des aphides est corrélée positivement avec les niveaux les plus élevés en asparagine et glutamine (Bernays et Chapman, 1994).

Une croissance inhibée des arthropodes peut être due soit à l'absence ou la présence des niveaux réduits des nutriments des plantes, soit à la présence d'inhibiteurs de croissance (Smith, 2005). Les extraits d'ethyl acetate du feuillage de certains cultivars de la luzerne ont limité la croissance d'*Aphis craccivora* (Annan *et al.*, 1996 cités par Smith, 2005).

Le nombre d'embryons obtenus chez les femelles élevées sur le cultivar 140 était presque 2 fois plus important que celui compté chez les femelles se trouvant sur le cultivar 143.

D'après Elliott et McDonald (1976), cités par Dixon et Dharma (1980), chaque ovaire d'*Aphis craccivora* compte 12 ovarioles. Brough et Dixon (1989) ont mentionnés que les individus vigoureux de *Megoura viciae* possèdent plus d'embryons par ovariole que les petits individus. Ces auteurs ont constaté également une différence dans le nombre d'ovarioles chez la même espèce. Chez certaines femelles de *M. viciae*, ils ont compté jusqu'à 22 ovarioles, contenant chacun 7 embryons, alors que chez d'autres ce chiffre n'a pas dépassé 14 ovarioles et 5 embryons.

Dans cette étude, il n'y a pas de corrélation entre la taille des adultes et le nombre total d'embryons. Par exemple, la taille des femelles d'*A. craccivora* élevées sur le cultivar 118 (1,29 mm) et 143 (1,30 mm) est presque la même mais le nombre moyen d'embryons était de 18,33 sur le premier et seulement de 11,33 embryons sur le deuxième.

Chez *Rhopalosiphum padi*, le nombre d'embryons par ovariole était constant, mais le nombre d'embryons âgés était corrélé avec la taille de l'adulte (Leather et Wellings, 1981). Cependant, ces mêmes auteurs ont remarqué que le nombre

d'embryons par ovariole chez le puceron *Drepanosiphum platanoidis* est corrélé avec la taille de l'adulte. Ainsi, les adultes larges de *D. platanoidis* commencent à se reproduire d'une manière précoce comparativement aux individus de petite taille (Dixon, 1970 cité par Llewellyn et Brown, 1985).

Le nombre d'insectes formé sur le cultivar 140 est presque 2 fois plus important que celui obtenu sur le cultivar 118. Par ailleurs, le poids des individus élevés sur le cultivar 140 est presque 3 fois plus important que celui des aphides élevés sur le cultivar 118. La fécondité journalière moyenne était comprise entre 0,88 et 0,91 chez les femelles élevées sur les cultivars 140, 143 et 148 et elle n'a pas dépassé 0,67 individus sur le cultivar 133. La période reproductive était seulement d'un jour sur le cultivar 133, alors qu'elle a atteint 5 jours sur le cultivar 140.

Ces différences dans le potentiel biotique et démographique des femelles d'*A. craccivora* élevées sur les 7 cultivars peuvent être attribuées à une différence dans la qualité d'alimentation ou à la présence de substances qui affectent la fécondité.

D'après Dixon (1987), cité par Khelifa (2004), la production larvaire des aphides est liée à la qualité de l'alimentation pré-imaginale. L'azote des plantes et la proportion carbone - azote peuvent limiter l'abondance et la croissance des populations de certains insectes phytophages. Les exigences des insectes en azote comprennent la quantité d'azote et la qualité des constituants azotiques de l'aliment ingéré (Mattson, 1980 cité par Wilkinson et Douglas, 2003).

Diverses substances chimiques interviennent dans la résistance antibiotique des plantes aux insectes. D'après Strebler (1989), les substances phénoliques et leurs dérivés, comme les quinones, les tannins et les lignines, sont largement impliquées dans cette résistance. En plus de leurs effets sur le comportement et la spécificité des relations plantes-insectes, ces substances agissent souvent sur la digestion et sur le métabolisme des insectes (Strebler, 1989).

Certaines substances ont pour effet de complexer les divers constituants des plantes (protéines, glucides et lipides) et par conséquent leur digestibilité se trouve limitée. Ces réactions s'observe juste après la destruction de la cellule et avant son

ingestion par le phytophage (Streblor, 1989). Les lectines empêchent souvent l'activité protéolytique et l'assimilation des nutriments au niveau de l'intestin moyen de l'insecte (Zhu-Salzman *et al.*, 2002 cités par Edwards et Singh, 2006).

L'acide oxalique ingéré par les larves de la noctuelle de la tomate *Helicoverpa armigera* a des effets corrosifs et anti-digestifs, engendrant ainsi une réduction du poids corporel et une augmentation de la durée de développement larvaire (Yoshida *et al.*, 1995 cités par Smith, 2005).

2.3.2.3- Tolérance

Le cultivar le plus tolérant est celui qui présente la réduction la plus limitée de hauteur et de poids sec de ses plants infestés comparativement aux plants non infestés. Du point de vue agronomique, les plants d'un cultivar tolérant produisent une quantité de biomasse plus importante que celle des cultivars sensibles ou non tolérants (Smith, 2005).

La différence en poids sec et en hauteur entre les plants infestés et non infestés des cultivars 143 et 133 est très faible en comparaison avec les autres cultivars. Ces deux cultivars semblent être les plus tolérants à *A. craccivora*. La différence dans la hauteur entre les plants infestés et non infestés chez le cultivar 120 est presque 3 fois plus importante que chez les cultivars 143 et 133.

Dans une étude sur la tolérance de variétés de fève infestées par 5 adultes *Aphis craccivora*, Laamari *et al.* (2008) ont mentionné que V51 a montré la plus faible réduction du poids sec (3,09 %) comparativement à V24 (65,25%).

En étudiant la tolérance de 4 cultivars de blé à *Diuraphis noxia*, Tolmay *et al.* (1999) ont indiqué que le cultivar résistant 'Aus 22498' a produit une biomasse sèche significativement supérieure que celle des cultivars sensibles.

Strauss et Agrawal (1999), cités par Smith (2005), ont décrit 5 facteurs fondamentaux impliqués dans l'augmentation de la tolérance des plantes. Il s'agit, entre autres, du taux photosynthétique, du taux de croissance relative, des niveaux préexistés de carbone stocké dans les racines et de la capacité de déplacer le carbone

stocké à partir de racines vers les pousses.

Les recherches sur les mécanismes de tolérance proprement dits étaient limitées. Cependant, des études récentes ont montré l'implication directe de la photosynthèse, les hormones végétales et les structures physiques des plantes dans l'expression de la tolérance (Smith, 2005). Les piqûres de *D. noxia* peuvent induire des réductions significatives dans la chlorophylle totale, caroténoïdes, et chlorophylle A et B, et par conséquent dans la production de la biomasse (Haile *et al.*, 1999 cités par Smith, 2005). Ainsi, des individus de *Schisaphis graminum* consommant des plants de sorgho pendant 1 à 4 jours ont réduit significativement le contenu de la chlorophylle et le taux de la photosynthèse (Nagaraj *et al.*, 2002 a et b cités par Smith, 2005).

Conclusion

Les résultats obtenus après une étude sur la résistance des cultivars de fève au puceron noir de la luzerne au champ, ont permis de répartir les 62 cultivars retenus en 16 résistants, 7 tolérants, 4 sensibles et 26 très sensibles.

La comparaison entre des cultivars résistants et d'autres très sensibles a montré qu'il n'y a pas de différences dans certains caractères morphologiques, notamment, la présence de pigmentation anthocyanique sur la tige, la longueur et la largeur des folioles de la paire basale du second nœud florifère et la hauteur de la tige. Probablement, la différence dans les niveaux de résistance des cultivars est plutôt liée à une différence dans la valeur énergétique de la sève ou dans le spectre des substances émises et qui agissent comme des phagostimulants ou des inappétents.

7 cultivars (120, 133, 148, 143, 118, 3 et 140) ont été retenus pour une deuxième étude sous un abri serre afin de déterminer l'implication des mécanismes d'antixénose, d'antibiotique et de tolérance dans cette résistance naturelle.

En ce qui concerne l'antixénose, le cultivar 148 est le plus attractif à l'égard des aptères et des ailés d'*Aphis craccivora*. Il se peut que le cultivar 148 a fait intervenir un spectre de volatiles plus attirant. Il est remarqué que le nombre d'individus comptés sur les 7 cultivars de fève étudiés a connu une augmentation dans le temps. Probablement, c'est les blessures provoquées par les premiers individus qui incitent certains cultivars de fève à produire des substances plus attractives du point de vue quantitatif et qualitatif. Il se peut également, que malgré les substances attractives produites par certains cultivars, la cire épicuticulaire, par sa structure et sa composition et la présence de substances antiappétentes, interviennent pour décourager la prise alimentaire. C'est le cas des cultivars 3 et 120 qui ont connu une diminution des effectifs des ailés installés dans le temps.

Pour l'antibiose, la taille des adultes d'*A. craccivora* n'a pas été très affectée entre les 7 cultivars. Les écarts très limités entre la vigueur des pucerons sont liés

probablement à une différence dans la richesse qualitative et quantitative de sève en acides aminés.

En ce qui concerne la fécondité potentielle, il est remarqué que le nombre total d'embryons est presque deux fois plus important sur le cultivar 140 par rapport au cultivar 148. Apparemment, il n'y a pas de corrélation entre la taille des adultes et le nombre total d'embryons produits par les femelles.

La masse et le nombre d'individus formés sur le cultivar 118 étaient plus importants sur le cultivar 140 par rapport au cultivar 118. Cette différence est éventuellement due à la valeur énergétique de la sève et à la facilité d'accession à l'alimentation sur chaque cultivar. Il se peut également que la réaction de la plante après son incitation par les pucerons et son pouvoir à modifier son métabolisme ou à produire des substances antiappétentes interviennent également dans la détermination du taux de multiplication de ce ravageur.

Le cultivar 140 s'est montré le moins résistant par antibiose. Cette sensibilité est exprimée par une bonne vigueur et un grand pouvoir de multiplication des femelles installées sur ce cultivar. Alors que les cultivars 118, 133 et 3 sont les plus résistants par antibiose.

Du point de vue tolérance, les cultivars 143 et 133 ont pu supporter la présence d'*A. craccivora* comparativement aux autres cultivars. La perte en hauteur de leurs plants infestés était très limitée par rapport à ceux non infestés. Tandis que, le cultivar 120 était le moins tolérant.

D'une manière générale, il est jugé que les cultivars 133 et 3 sont les plus intéressants par le fait qu'ils ont fait intervenir plus d'un mécanisme de résistance, soit l'antibiose et la tolérance pour le premier, soit l'antibiose et l'antixénose pour le deuxième. De cette façon, ils peuvent éviter le contournement de cette résistance naturelle par le développement de nouveaux biotypes chez ce puceron.

Il est intéressant de répéter ce travail sur plusieurs années et sur plusieurs stades phénologiques de la fève. Il est souhaitable également de faire déterminer le spectre des substances produites par les plantes, leur statut nutritionnel et leur aspect

morphologique, notamment l'épaisseur, la structure et la composition chimique de la cire cuticulaire.

Il est également intéressant de faire introduire dans les essais plusieurs ravageurs, tels que *Aphis fabae* et *Acyrtosiphon pisum*, afin d'aboutir probablement à des cultivars dotés d'une résistance croisée à l'égard d'une gamme très importante de ravageurs. Une résistance contre plusieurs ravageurs, notamment les pucerons, peut être particulièrement très bénéfique, puisqu'elle peut réduire d'une part les quantités totales d'insecticides déversées, et d'autre part, elle protège la culture des virus véhiculés par les ailés émigrants des pucerons.

Références bibliographiques

1. Alvarez A. E., Tjallingii W. F., Garzo E., Vleeshouwers V., Dicke M. and Vosman B., 2006. Location of resistance factors in the leaves of potato and wild tuber-bearing *Solanum* species to the aphid *Myzus persicae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 121: 145–157.
2. Ameline A., Couty A., Dugravot S., Campan E., Dubois F. and Giordanengo P., 2007. Plant-selection behaviour after biotic and abiotic damage inflicted to potato plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 123: 129-137.
3. Annan I. B., Schaefer G. A., Tingey W. M. and Tjallingii W. F., 1997. Effects of treatments for electrical penetration graph recordings on behaviour and biology of *Aphis craccivora* (Aphididae). *Physiological Entomology* 22: 95- 101.
4. Anonyme, 1996. HYPP (hypermedia pour la protection des plantes). CD-ROM: version 1.0.
5. Barker P. S. and McKenzie R. I. H., 1996. Possible sources of resistance to the wheat midge in wheat. *Canadian Journal of Plant Science*: 689-695.
6. Barre F., Milsant F., Palasse C., Prigent V., Goussard F. and Géri C., 2002. Preference and performance of the sawfly *Diprion pini* on host and non-host plants of the genus *Pinus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 102: 229-237.
7. Bengtsson M., Jaastad G., Knudsen G., Kobro S., Bäckman A.-C., Pettersson E. and Witzgall P., 2006. Plant volatiles mediate attraction to host and non-host plant in apple fruit moth, *Argyresthia conjugella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 118: 77-85.
8. Bernays E. A. and Chapman R. F., 1994. Host plant selection by phlophagous insects. Chapman and Hall, 312p.
9. Blackman R. L. and Eastop V. F., 2007. Taxonomic issues. In Van Emden H. F. and Harrington R., Aphid as crop pests. Edition CABI, U. K.:1-29.
10. Bolter C. J., Dicke M., Van Loon J. J. A., Visser J. H. and Posthumus M. A., 1997. Attraction of Colorado potato beetle to herbivore-damaged plants during herbivory and after its termination. *Journal of Chemical Ecology* 23 (4): 1003-1023.
11. Bond D. A., Jellis G. J., Rowland G. G., Le Guen J., Robertson L. D., S . A. Khalil S. A. and Li-Juan L., 1994. Present status and future strategy in breeding faba beans (*Vicia faba* L.) for resistance to biotic and abiotic stresses. *Euphytica* 3: 151-166.

12. Bosland P. W. and Ellington J. J., 1996. Comparison of *Capsicum annum* and *C. pubescens* for antixenosis as a means of aphid resistance. *HortScience* 31 (6): 1017-1018.
13. Brough C. N. and Dixon A. F. G., 1989. Reproductive investment and the inter-ovariole differences in embryo development and size in virginoparae of the vetch aphid, *Megoura viciae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 52: 215-220.
14. Cai Q. N., Zhang W. and Cheo M., 2004. Contribution of indole alkaloids to *Sitobion avenae* (F.) resistance in wheat. *Journal of Applied Entomology* 128 (8): 517-528.
15. Carroll M. J., Schmelz E. A., Meagher R. L. and Teal P. E. A., 2006. Attraction of *Spodoptera frugiperda* larvae to volatiles from herbivore-damaged maize seedlings. *Journal of Chemical Ecology* 32: 1911–1924.
16. Carroll M. J., Schmelz E. A. and Teal P. E. A., 2008. The attraction of *Spodoptera frugiperda* neonates to cowpea seedlings is mediated by volatiles induced by conspecific herbivory and the elicitor inceptin. *Journal of Chemical Ecology* 34, 291–300.
17. Castro A.M., Vasicek A., Ramos S., Worland A., Suárez E., Muñoz M., Giménez D. and Clúa A.A., 1999. Different types of resistance against greenbug, *Schizaphis graminum* Rond, and the Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia* Mordvilko, in wheat. *Plant Breeding* 118: 131-137.
18. Chen M.-S., 2008. Inducible direct plant defense against insect herbivores: a review. *Insect Science* 15: 101-114.
19. Comeau A., 1992. La résistance aux pucerons: aspects théoriques et pratiques de la lutte biologique. Lutte biologique, Canada: 433-449.
20. Cornelissen T. G., Negreiros D. and Fernandes G. W., 2002. Plant resistance against gall-forming insects: the role of hypersensitivity. In Wagner M. R., Clancy K. M., Lieutier F. and Paine T. D. (eds.), mechanisms and deployment of resistance in trees to insects. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands: 137-152.
21. Coyle D. R., McMillen J. D., Hall R. B. and Hart E. R., 2002. Deployment of tree resistance to insects in short-rotation *Populus* plantations. In Wagner M. R., Clancy K. M., Lieutier F. and Paine T. D. (eds.), mechanisms and deployment of resistance in trees to insects. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands: 189-215.
22. Cuartero J., Laterrot H. and van Lenteren J. C., 1999. Host-plant resistance to pathogens and arthropod pests. In Albajes R. *et al.* (eds.), integrated pest and diseases management in greenhouse crops: 124-138.

23. de Boer J. G., Hordijk C. A., Posthumus M. A. and Dicke M. , 2008. Prey and non-prey arthropods sharing a host plant: effects on induced volatile emission and predator attraction. *Journal of Chemical Ecology* 34, 281–290.
24. de Bruyne M. et Baker T. C., 2008. Odor detection in insects: volatile codes. *Journal of Chemical Ecology* (in press): 9p.
25. Dhillon M. K., Sharma H. C., Singh R. and Naresh J. S., 2005. Mechanisms of resistance to shoot fly, *Atherigona soccata* in sorghum. *Euphytica* 144: 301-312.
26. DiTommaso A. and Losey J. E., 2003. Oviposition preference and larval performance of monarch butterflies (*Danaus plexippus*) on two invasive swallow-wort species. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 108: 205-209.
27. Dixon A. F. G., 1977. Aphid ecology : life cycles, polymorphism, and population regulation. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 8: 329-353.
28. Dixon A. F. G. and Dharma T. R., 1980. Number of ovarioles and fecundity in the black bean aphid, *Aphis fabae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 28, 1-14.
29. Eben A. et López-Carretero A., 2008. Asymmetry of larval diet breadth and oviposition preference in *Leptinotarsa undecimlineata*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 128: 27-33.
30. Edwards O. and Singh K. B., 2006. Resistance to insect pests : what do legumes have to offer?. *Euphytica* 147: 273-285.
31. El-Defrawi G., El-Gantiry A. M., Weigand S. and Khalil S. A., 1991. Screening of faba bean (*Vicia faba* L.) for resistance to *Aphis craccivora* Koch. *Arab Journal of Plant Protection* 9 (2): 141-138.
32. El Heneidy A., Resk G. and Hekal A. M., 1998. Impact of planting date on aphids population and associated natural enemies on faba bean plants in Egypt. *Arab Journal of Plant Protection* 16 (2): 55-59.
33. Foss L. K. and Rieske L. K., 2003. Species-specific differences in oak foliage affect preference and performance of gypsy moth caterpillars. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 108: 87-93.
34. Frei A., Bueno J. M., J. Diaz-Montano, Gu H., Cardona C. and Dorn S., 2004. Tolerance as a mechanism of resistance to *Thrips palmi* in common beans *Entomologia Experimentalis et Applicata* 112: 73–80.

35. Fuentes-Contreras E. and Niemeyer H. M., 2000. Effect of wheat resistance, the parasitoid *Aphidius rhopalosiphi*, and the entomopathogenic fungus *Pandora neoaphidis*, on population dynamics of *Sitobion avenae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 97: 109–114.
36. Gabrys B., Tjallingii W. F. and Van Beek T. A., 1997. Analysis of EPG recorded probing by cabbage aphid on host plant parts with different glucosinolate contents. *Journal of Chemical Ecology* 23 (7): 1661-1673.
37. Goławska S., 2007. Deterrence and toxicity of plant saponins for the pea aphid *Acyrtosiphon Pisum* Harris. *Journal of Chemical Ecology* 33: 1598-1606.
38. Goławska S., Łukasik I, and Leszczyński B., 2008. Effect of alfalfa saponins and flavonoids on pea aphid. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 128: 147-153.
39. Han Y., Wang Y., Jian-Long Bi J.-L., Yang X.-O., Huang Y., Zhao X., Hu Y. and Cai Q.-N., 2009. Constitutive and induced activities of defense-related enzymes in aphid-resistant and aphid-susceptible cultivars of wheat. *Journal of Chemical Ecology* (in press): 9p.
40. Heisswolf A., Gabler D., Obermaier E. and Müller C., 2007. Olfactory versus contact cues in host plant recognition of a monophagous chrysomelid beetle. *Journal of Insect Behavior* 20 (2): 247-266.
41. Hiltbold I. and Turlings T. C. J., 2008. Belowground chemical signaling in maize: when simplicity rhymes with efficiency. *Journal of Chemical Ecology* 34: 628–635.
42. Horton D. R., Chauvin R.L., Hinojosa T., Larson D., Murphy C. and Biever K. D., 1997. Mechanisms of resistance to Colorado potato beetle in several potato lines and correlation with defoliation. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 82: 239–246.
43. Huggett D. A. J., Leather S. R. and Walters K. F. A., 1999. Suitability of the biomass crop *Miscanthus sinensis* as a host for the aphids *Rhopalosiphum padi* (L.) and *Rhopalosiphum maidis* (F.), and its susceptibility to the plant luteovirus Barley Yellow Dwarf Virus. *Agricultural and Forest Entomology* 1: 143-149.
44. Hullé M., Turpeau-Ait Ighil é, Robert Y. et Monnet Y., 1999. Les pucerons des plantes maraichères: cycles biologiques et activités de vol. ACTA et INRA, Paris: 136p.
45. Khelfa L., 2004. Etude de résistance de différents variétés de fève cultivés dans la région de Biskra au puceron noir de la luzerne, *Aphis craccivora* Koch, 1854 (Homoptera : Aphididae). Thèse de magister en agrotechnie, université de Batna: 134p.

46. Kiggundu A., Gold C. S., Labuschagne M. T., Vuylsteke D. et Louw S., 2007. Components of resistance to banana weevil (*Cosmopolites sordidus*) in *Musa* germplasm in Uganda. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 122: 27-35.
47. Kim J. H. and Mullin C. A., 2003. Antifeedant effects of proteinase inhibitors of feeding behaviors of adult Western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*). *Journal of Chemical Ecology* 29 (4): 795-810.
48. Klingauf F. A. J., 1982. Breeding for resistance to aphids. *Faba bean improvement, Netherlands*: 286-289.
49. Kumari D. A., Reddy D. J., and Sharma H. C., 2006. Antixenosis mechanism of resistance in pigeonpea to the pod borer, *Helicoverpa armigera*. *J. Appl. Entomol* 130 (1): 10-14.
50. Laamari M., 2004. Etude écobioologique des pucerons des cultures dans quelques localités de l'Est algérien. Thèse Doctorat Sci. Agro., El-Harrach: 204p.
51. Laamari M., Khelfa L. and Coeur d'Acier A., 2008. Resistance source to cowpea aphid (*Aphis craccivora* Koch) in broad bean (*Vicia faba* L.) algerian ladrace collection. *African Journal of Biotechnology* 7 (14): 2486-2490.
52. Larsson S., 2002. Resistance in trees to insects - an overview of mechanisms and interactions. In Wagner M. R., Clancy K. M., Lieutier F. and Paine T. D. (eds.), mechanisms and deployment of resistance in trees to insects. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands: 1-29.
53. Laurent P., Braekman J.-C. and Daloze D., 2005. Insect chemical defense. *Topics in Current Chemistry* 240: 167-229.
54. Leather S. R. and Wellings P. W., 1981. Ovariole number and fecundity in aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 30: 128-133.
55. Leszczynski B., Wright L. and Bakowski T., 1989. Effect of secondary plant substances on winter wheat resistance to grain aphid. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 52: 135-139.
56. Lieutier F., 2002. Mechanisms of resistance in conifers and bark beetle attack strategies. In Wagner M. R., Clancy K. M., Lieutier F. and Paine T. D. (eds.), mechanisms and deployment of resistance in trees to insects. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands: 31-77.
57. Lieutier F., 2004. Host resistance to bark beetles and its variations. In Lieutier F. et al. (eds), bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands: 135-180.

58. Llewellyn M. and Brown V. K., 1985. A general relationship between adult weight and the reproductive potential of aphids. *Journal of Animal Ecology* 54: 663-673.
59. Maatougui M. E., 1996. Situation de la culture des fèves en Algérie et perspectives de relance. *Céréaliculture* 29: 6-14.
60. Maciejewski J., 1991. Semences et plants. Techniques et documentation-Lavoisier, Paris: 233p.
61. Mauchline A. L., Birkett M. A., Woodcock C. M., Pickett J. A., Osborne J. L. and Powell W., 2008. Electrophysiological and behavioural responses of the pollen beetle, *Meligethes aeneus*, to volatiles from a non-host plant, lavender, *Lavandula angustifolia* (Lamiaceae). *Arthropod-Plant Interactions* 2: 109-115.
62. McLoed P., Morelock T. E. and Goode M. J., 1991. Preference, developmental time, adult longevity and fecundity of green peach aphid (Homoptera : Aphididae) on spinach. *J. Entomol. Sci.* 26 (1): 95-98.
63. Meiners T. and Hilker M., 2000. Induction of plant synomones by oviposition of a phytophagous insect. *Journal of Chemical Ecology* 26(1), 221-232.
64. Moreau B. et Leteinturier J., 1997. Protection phytosanitaire, légumes et petits fruits. Editions centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris: 507p.
65. Morewood W. D., Hoover K., Neiner P. R., McNeil J. R. and Sellmer J. C., 2004. Host tree resistance against the polyphagous wood-boring beetle *Anoplophora glabripennis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 110: 79-86.
66. Morris B. D., Charlet L. D. and Foster S. P., 2008. Isolation of three diterpenoid acids from sunflowers, as oviposition stimulants for the banded sunflower moth, *Cochylis hospes*. *Journal of Chemical Ecology* (in press): 8p.
67. Mouhouche F., 1997. Les principaux ravageurs des fèves en Algérie. *Journées sur les ennemis et les parasites de la fève, du 21 au 23 avril 1997, Institut Technique des Grandes Cultures, Alger*: 33-42.
68. Musetti L. and Neal J. J., 1997. Resistance to the pink potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae*, in two accessions of *Lycopersicon hirsutum* f. *glabratum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 84: 137-146.

69. Narayanamma V. L., Sharma H. C., Gowda C. L. L. et Sriramulu M., 2007. Mechanism of resistance to *Helicoverpa armigera* and introgression of resistance genes into F₁ hybrids in chickpea. *Arthropod-Plant Interactions* 1: 263-270.
70. Offroukh A. et Aggad H., 1996. Contribution à la connaissance des maladies à virus des légumineuses alimentaires : état actuel sur les recherches des viroses affectant la fève (*Vicia faba* L.) en Algérie. *Céréaliculture* 29: 35-38.
71. Ollerstam O. and Larsson S., 2003. Salicylic acid mediates resistance in the willow *Salix viminalis* against the gall midge *Dasineura marginemtorquens*. *Journal Chemical Ecology* 21 (1): 163-174.
72. Perera M. R., Vargas R. D. F. and Jones M. G. K., 2005. Identification of aphid species using protein profiling and matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 117: 243-247.
73. Powell G., Maniar S. P., Pickett J. A. and Hardie J., 1999. Aphid responses to non-host epicuticular lipids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 91: 115-123.
74. Prado E. and Tjallingii W. F., 1997. Effects of previous plant infestation on sieve element acceptance by two Aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 82: 189-200.
75. Rat-Morris E., 1990. Résistance du pommier au puceron cendre, comportement de la variété Florina. *Deuxième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, 4-5 et 6 /12/1990, Versailles*: 607-614.
76. Renard S., Calatayud P.-A., Pierre J.-S. and Le Ru B., 1998. Recognition behavior of the cassava mealybug *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Homoptera: Pseudococcidae) at the leaf surface of different host plants. *Journal of Insect Behavior* 11 (3): 429-450.
77. Sauge M-H, Kervella J. and Pascal T., 1998. Settling behaviour and reproductive potential of the green peach aphid *Myzus persicae* on peach varieties and a related wild *Prunus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 89: 233-242.
78. Sauvion N., 1995. Effets et modes d'action de deux lectines à mannose sur le puceron du pois, *Acyrtosiphon pisum* (Harris). Thèse de doctorat en analyses et modélisation des systèmes biologiques, institut national des sciences appliquées de Lyon: 255 p.
79. Seilleur P., 1989. Amélioration génétique de la résistance aux agents phytopathogènes. In Semal J. et Lepoivre P., traité de pathologie végétale. Les presses agronomiques de Gembloux A. S. B. L., Gembloux: 415-453.

80. Sharma H. C., Mukuru S. Z., Manyasa E. and Were J. W., 1999. Breakdown of resistance to sorghum midge, *Stenodiplosis sorghicola*. *Euphytica* 109: 131-140.
81. Sharma H. C., Franzmann B. A. and Henzell R. G., 2002. Mechanisms and diversity of resistance to sorghum midge, *Stenodiplosis sorghicola* in *Sorghum bicolor*. *Euphytica* 124: 1-12.
82. Shields V. D. C., Smith K. P., Arnold N. S., Gordon I. M., Shaw T. E. and Waranch D., 2008. The effect of varying alkaloid concentrations on the feeding behavior of gypsy moth larvae, *Lymantria dispar* (L.) (Lepidoptera: Lymantriidae). *Arthropod-Plant Interactions* 2: 101-107.
83. Smith C. M., 2005. Plant resistance to arthropods. Edition Springer, the Netherlands: 423p.
84. Smith C. M. and Boyko E. V., 2007. The molecular bases of plant resistance and defense responses to aphid feeding: current status. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 122: 1-16.
85. Smith C.M., Havlíčková H., Starkey S., Gill B.S. and Holubec V., 2004. Identification of *Aegilops* germplasm with multiple aphid resistance. *Euphytica* 135: 265-273.
86. SPSS, 2008. SPSS base 17.0 for Windows. Chicago.
87. Storer J. R. and van Emden H. E., 1995. Antibiosis and antixenosis of chrysanthemum cultivars to the aphid *Aphis gossypii*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 77: 307-314.
88. Strebler G., 1989. Les médiateurs chimiques, leur incidence sur la bioécologie des animaux. Technique et documentation – Lavoisier, Paris: 246p.
89. Takemura M., Kuwahara Y. and Nishida R., 2006. Feeding responses of an oligophagous bean aphid, *Megoura crassicauda*, to primary and secondary substances in *Vicia angustifolia*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 121: 51-57.
90. Tolmay V. L., van der Westhuizen M. C. and van Deventer C. S., 1999. A six week screening method for mechanisms of host plant resistance to *Diuraphis noxia* in wheat accessions. *Euphytica* 107: 79-89.
91. Tomooka N., Kashiwaba K., Vaughan D. A., Ishimoto M. and Egawa Y., 2000. The effectiveness of evaluating wild species: searching for sources of resistance to bruchid beetles in the genus *Vigna* subgenus *Ceratotropis*. *Euphytica* 115: 27-41.

92. Udayagiri S. and Mason C.M., 1997. Epicuticular wax chemicals in *Zea mays* influence oviposition in *Ostrinia nubilalis*. *Journal of Chemical Ecology* 23 (7): 1675-1687.
93. UPOV (union internationale pour la protection des obtentions végétales), 2003. Fève, principes directeurs pour la conduite d l'examen de la distinction, de l'homogénéité et de la stabilité. 30p.
94. van Leur H., Vet L. E. M., van der Putten W. H. and van Dam N. M., 2008. *Barbarea vulgaris* glucosinolate phenotypes differentially affect performance and preference of two different species of lepidopteran herbivores. *Journal of Chemical Ecology* 34: 121–131.
95. Webster B., Bruce T., Dufour S., Birkemeyer C., Birkett M., Hardie J. and Pickett J., 2008. Identification of volatile compounds used in host location by the black bean aphid, *Aphis fabae*. *Journal of Chemical Ecology* (in press): 9p.
96. Weigand S. and Bishara S. L., 1991. Statute of insect pests of faba bean in the Mediterranean region and method of control. *Options Méditerranéennes – série séminaires*, n 10: 67-74.
97. Wilkinson T. L. and Douglas A. E., 2003. Phloem amino acids and the host plant range of the polyphagous aphid, *Aphis fabae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 106: 103-113.
98. Zehnder G. W., Nichols A. J., Edwards O. R. and Ridsdill-Smith T. J., 2001. Electronically monitored cowpea aphid feeding behavior on resistant and susceptible lupins. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 98: 259–269.

Résumé

L'évaluation de la résistance de 62 cultivars de fève *Vicia faba* au puceron *Aphis craccivora* au champ a montré que plusieurs cultivars, entre autres 3, 118, 120, 133, 140, 143 et 148, ont été résistants à la pullulation et/ou la déposition de pucerons. L'étude des modalités de résistance de 7 cultivars sous un abri serre a mis en évidence que les cultivars 133 et 3 font intervenir dans leur résistance plus d'un mécanisme de résistance, soit l'antibiose et la tolérance pour le premier, soit l'antibiose et l'antixénose pour le deuxième. Tandis que d'autres cultivars ont résisté par une seule catégorie comme le cultivar 120 résiste seulement par antixénose contre les ailés d'*A. craccivora*.

Mots clés : *Vicia faba*, *Aphis craccivora*, résistance naturelle, antibiose, antixénose, tolérance

Abstract

The evaluation of resistance of 62 cultivars of faba bean *Vicia faba* to the cowpea aphid *Aphis craccivora* in the field showed that many cultivars, like 3, 118, 120, 133, 140, 143 and 148, were resistant to the reproduction and/or settling of the aphids. The study of resistance categories of 7 cultivars in the greenhouse indicated that the cultivars 133 and 3 resisted by two phenomena, antibiosis and tolerance for the first one and antibiosis and antixenosis for the second one. Whereas other cultivars expressed resistance in one phenomenon like 120 resistant to the winged *A. craccivora* by antixenosis.

Key words : *Vicia faba*, *Aphis craccivora*, natural resistance, antibiosis, antixenosis, tolerance