



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Université Batna 1 Hadj Lakhdar

Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques

Département des Sciences Agronomiques

Thèse

en vue de l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière: Agronomie

Option: Protection des végétaux

Sujet

Evaluation de la résistance naturelle chez quelques
cultivars locaux de fève au puceron noir de la fève
Aphis fabae Scopoli, 1763 (Homoptera, Aphididae)

Présentée par

MERADSI Fouad

Soutenue publiquement le **10 Mai 2017** devant le jury composé de:

Mr OUDJEHIH Bachir	Président	Pr. Univ. Batna 1
Mr LAAMARI Malik	Rapporteur	Pr. Univ. Batna 1
Mme LOMBARKIA Nadia	Examinatrice	Pr. Univ. Batna 1
Mr BOUNECHADA Mustapha	Examineur	Pr. Univ. Sétif 1
Mr OULD ELHADJ Mohamed Didi	Examineur	Pr. Univ. Ouargla
Mr MEBARKIA Abdelkrim	Examineur	Pr. Univ. Sétif 1

Année Universitaire 2016 – 2017

Table des matières

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	1
Chapitre I: Matériel et méthodes	6
I.1. Matériel.....	6
I.1.1. Matériel végétal.....	6
I.1.2. Matériel animal.....	7
I.2 Méthodes.....	8
1.2.1 Evaluation de la résistance en plein champ.....	8
1.2.2 Interaction résistance - aspect morphologique des cultivars.....	10
1.2.3 Etude des mécanismes de résistance.....	11
1.2.3.1 Antixénose.....	11
I.2.3.1.1 Essai en lumière	11
I.2.3.1.2 Test en obscurité.....	12
I.2.3.2 Antibiose.....	13
I.2.3.3 Tolérance.....	16
I.2.4 Analyses chimiques de quelques métabolites secondaires.....	17
I.2.4.1 Dosage des polyphénols totaux.....	17
I.2.4.2 Dosage des flavonoïdes totaux.....	19
1.2.5 Effet antixénotique et insecticide des extraits méthanoliques et aqueux des feuilles du cultivar résistant.....	20
I.2.5.1 Effet antixénotique (répulsif).....	21
I.2.5.2 Effet insecticide.....	21

I.2.6 Analyse statistique.....	22
Chapitre II: Résultats et discussions.....	23
II.1 Evaluation de la résistance en plein champ.....	23
II.1.1 Résultats.....	23
II.1.2 Discussion.....	23
II.1.3 Conclusion.....	25
II.2 Aspect morphologique des cultivars.....	26
II.2.1 Résultat.....	26
II.2.2 Discussion.....	27
II.2.3 Conclusion.....	28
II.3 Etude des mécanismes de résistance.....	29
II.3.1 Mécanisme d'antixénose.....	29
II.3.1.1 Résultats.....	29
II.3.1.2 Discussion.....	30
II.3.1.3 Conclusion.....	33
II.3.2 Mécanisme d'antibiose.....	34
II.3.2.1 Résultats.....	34
II.3.2.2 Discussion.....	39
II.3.2.3 Conclusion.....	41
II.3.3 Mécanisme de tolérance.....	43
II.3.3.1 Résultats.....	43
II.3.3.2 Discussion.....	45
II.3.3.3 Conclusion.....	46
II.4 Teneur en polyphénols et en flavonoïdes.....	47
II.4.1 Résultats.....	47

II.4.2 Discussion.....	48
II.4.3 Conclusion.....	49
II.5 Action répulsive des extraits aqueux et méthanolique.....	50
II.5.1 Résultats.....	50
II.5.2 Discussion.....	51
II.6 Action insecticide des extraits aqueux et méthanolique.....	53
II.6.1 Résultats.....	53
II.6.2 Discussion.....	53
II.6.3 Conclusion.....	54
Conclusion générale et perspectives.....	55
Références bibliographiques.....	58

Résumé

Production scientifique

Remerciements

Tout d'abord, je voudrais remercier mon **Dieu** pour m'avoir permis d'être ce que je suis devenu aujourd'hui, et pour m'avoir guidé toujours vers le bon chemin.

Mes remerciements les plus vifs et les plus sincères à Mr. **LAAMARI Malik**, Professeur en Entomologie agricole et forestière, pour son judicieux encadrement, pour sa disponibilité, ses conseils précieux et ses encouragements qu'il m'a prodigués tout au long de cette thèse. Je le remercie d'avantage de m'avoir fait confiance pour mener à bien ce travail. Je le remercie chaleureusement pour les multiples corrections réalisées avec grand soin et patience. En fin, je le remercie pour tous les efforts ont fourni et pour tout le temps consacré pour mener bien et finalisé ce modeste travail.

Je tiens aussi à exprimer mes vifs remerciements à:

Monsieur le Professeur **OUdjeih Bachir**, département des Sciences Agronomiques à l'université de Batna 1, qui m'a fait l'honneur d'avoir bien voulu juger mon travail et présider le jury. Je le considère parmi l'une des références de notre département de point de vue rigueur et sérieux en travail.

Madame **LOMBARKIA Nadia**, Professeur au département des Sciences Agronomiques à l'université de Batna 1, d'avoir accepté de juger et critiquer ce travail.

Monsieur le Professeur **BOUNECHADA Mustapha**, département des Sciences Agronomiques à l'université Ferhat ABBAS de Sétif 1, qui avant 8 ans, était membre de mon jury de mémoire de Magister et que j'apprécie sa contribution dans le jury de ce présent travail. Je remercie vivement pour l'acceptation de cette participation scientifique.

Monsieur le Professeur **OULD ELHADJ Mohamed Didi**, département des sciences Biologiques à l'université Kasdi MERBAH Ouargla, d'avoir accepté de fait partie de mon jury. Qui avant 8 ans, était membre de mon jury de mémoire de Magister et que j'apprécie sa contribution dans le jury de cette présente thèse. Je le remercie pour cette participation malgré toutes responsabilités et occupations.

Monsieur le Maître de Conférences A **MEBARKIA Abdelkrim**, département des Sciences Agronomiques à l'université Ferhat ABBAS de Sétif 1, aussi je remercie d'abord pour votre contribution à ce jury et d'avoir accepté de fait partie de mon jury de thèse pour examiner et juger ce travail.

Liste des figures

Figure 1:	Aspect externe des graines des 15 cultivars utilisés lors de cette étude.....	7
Figure 2:	Forme adulte aptère d' <i>Aphis fabae</i> utilisée dans l'infestation artificielle des plants de fève.....	7
Figure 3:	Serre tunnel utilisé pour l'élevage de la souche de base du puceron noir <i>Aphis fabae</i> utilisé pour l'infestation artificielle des plants de fève.....	8
Figure 4:	Vue générale de la parcelle retenue pour la culture des 15 cultivars de fève.....	9
Figure 5:	Disposition des 15 cultivars de fève dans la parcelle d'étude.....	9
Figure 6:	Mesure de quelques caractères morphologiques.....	11
Figure 7:	Mise en culture pour le test d'antixénose.....	13
Figure 8:	Disposition des plants des cultivars pour le test d'antibiose.....	14
Figure 9:	Mesure de la longueur et de la largeur de l'adulte d' <i>Aphis fabae</i>	14
Figure 10:	Les différents types d'embryons obtenus après dissection et coloration au bleu de méthylène d'une femelle d' <i>Aphis fabae</i>	15
Figure 11:	Gamme d'étalonnage des polyphénols totaux de l'extrait méthanolique.....	18
Figure 12:	Courbe d'étalonnage des flavonoïdes totaux de l'extrait méthanolique.....	20
Figure 13:	Disposition des boîtes de Pétri pour le test antixénotique des extraits méthanoliques et aqueux des feuilles du cultivar de fève le plus résistant.....	22
Figure 14:	Distribution des aptères <i>Aphis fabae</i> sur les différents cultivars en position de lumière et d'obscurité.....	30
Figure 15:	Nombre d'embryons produits par les femelles élevées sur les différents cultivars de fève.....	36
Figure 16:	Fécondité totale moyenne des femelles d' <i>Aphis fabae</i> sur les 5 cultivars de fève.....	38
Figure 17:	Différence de hauteur (%) entre les plants infestés et non infestés des 5 cultivars de fève.....	44
Figure 18:	Différence de hauteur entre les plants infestés et non infestés des 5 cultivars de fève après 10 jours de l'infestation.....	44

Figure 19:	Attractivité des adultes aptères d' <i>A. fabae</i> par les feuilles du cultivar sensible	
	(4) traitées par les extraits aqueux et méthanoliques du cultivar résistant	
	(12).....	51

Liste des tableaux

Tableau 1:	Codes et origines des 15 cultivars de fève retenus pour cette étude	6
Tableau 2:	Normes des caractères morphologiques retenus dans cette étude selon l'échelle UPOV (2003).....	10
Tableau 3:	Gamme étalon des polyphénols totaux de l'extrait méthanolique.....	19
Tableau 4:	Gamme d'étalonnage des flavonoïdes de l'extrait méthanolique.....	19
Tableau 5:	Classement des cultivars de fève selon les degrés d'infestation par le puceron <i>A. fabae</i> en plein champ après 10, 20 et 30 jours de l'infestation artificielle des plants.....	23
Tableau 6:	Caractères morphologiques des cultivars de fève retenus dans cette étude.....	26
Tableau 7:	Comparaison entre un groupe de cultivars résistants (CR) (1 et 12) et un groupe de cultivars très sensibles (CTS) (4 et 11) pour certains caractères morphologiques.....	27
Tableau 8:	Distribution des aptères <i>A. fabae</i> sur les différents cultivars.....	30
Tableau 9:	Taille des adultes d' <i>A. fabae</i> (mm ²) sur les 5 cultivars de fève.....	34
Tableau 10:	Poids de l'adulte <i>A. fabae</i> (mg) sur les 5 cultivars de fève.....	35
Tableau 11:	Nombre d'embryons produits par les adultes élevés sur les différents cultivars.....	36
Tableau 12:	Coefficients de corrélation (r) entre quelques paramètres biotiques des femelles d' <i>Aphis fabae</i> élevés sur les 5 cultivars de fève.....	37
Tableau 13:	Paramètres biologiques d' <i>Aphis fabae</i> sur les 5 cultivars de fève.....	38
Tableau 14:	Paramètres démographiques des individus d' <i>Aphis fabae</i> élevés sur les 5 cultivars de fève.....	39
Tableau 15:	Différence de la hauteur entre les plants infestés et non infestés des 5 cultivars de fève.....	43
Tableau 16:	Teneur en polyphénols totaux des 5 cultivars de fève étudiés.....	47
Tableau 17:	Teneur en flavonoïdes totaux des 5 cultivars de fève.....	48
Tableau 18:	Effet des extraits méthanoliques et aqueux des feuilles du cultivar 12 sur le comportement des adultes d' <i>Aphis fabae</i>	50

Tableau 19:	Taux de mortalité des adultes <i>d'A. fabae</i> placés sur les feuilles du cultivar de fève sensible (4) traitées avec les extraits aqueux et méthanolique du cultivar résistant (12).....	53
--------------------	--	-----------

Introduction

La fève (*Vicia faba* L.) est la légumineuse à grosses graines, la plus cultivée pour l'alimentation humaine au Maghreb (Kharrat *et al.*, 2002). Elle joue un rôle important dans le développement de l'économie nationale dans cette région (Khaldi *et al.*, 2002).

Ses teneurs élevées en protéines (25%) et en glucides (53%), lui confèrent une valeur nutritive très importante (Larrald & Martinez, 1991). De ce fait, elle présente une bonne valeur nutritive, pour remplacer certaines sources protéiques conventionnelles (Tawatia & Virk, 1996). La fève est utilisée en tant qu'engrais vert, pour les sols pauvres dans les régions arides d'Algérie (Chafi & Bensoltane, 2009).

Malgré les encouragements accompagnant la culture des légumineuses, notamment, la fève, des problèmes d'ordre abiotique (froid hivernal, gelées printanières, chaleur et salinité) et biotiques (maladies, plantes parasites et ravageurs), restent un véritable obstacle, empêchant l'augmentation des rendements (Maatougui, 1996).

Parmi les ravageurs, les insectes occupent une place importante, notamment, les pucerons. Le cycle de vie des pucerons témoigne de l'étonnante plasticité adaptative de ce groupe d'insectes, caractère qui contribue de manière considérable à leur succès en tant que ravageurs des plantes. L'une des caractéristiques originales des pucerons est leur capacité à produire, dans une même colonie, des individus ailés et des individus aptères, qui accomplissent des fonctions écologiques différentes (Wattier, 2013).

Les dégâts causés par les pucerons sont de deux ordres, soit directement, par la prise d'alimentation, soit indirectement, par la transmission des virus. L'injection de la salive lors de l'insertion des stylets, peut avoir des effets toxiques pour la plante hôte (Comeau, 1992). Leurs attaques, se manifestent fréquemment par, des décolorations, des nécroses et des déformations des feuilles et/ou des fruits (Bonnemain, 2010).

Certains pucerons peuvent aussi perturber les processus de multiplication cellulaire et entraîner la formation de galles, servant de source de nutriments (Dedryver *et al.* 2010).

Le miellat excrété par les pucerons, bien que non toxique, constitue un milieu favorable au développement de microorganismes, notamment, aux champignons saprophytes (*Alternaria* sp., *Verticillium* sp.), responsables des fumagines. Les fumagines vont contribuer à l'occlusion des stomates et à la réduction de la photosynthèse (Rossing, 1991). Cependant, les dégâts les plus sévères, résultent de la transmission des virus phyto-pathogènes. En effet, les pucerons sont capables de propager 28 % des phytovirus transmis par les insectes (197 sur 697) (Hogenhout *et al.*, 2008). Le puceron vert du pêcher, *Myzus persicae*, est le vecteur le plus potentiel, il peut transmettre au moins 100 phytovirus par le mode persistant et non persistant. Par ailleurs, le puceron noir de la fève, *A. fabae*, peut transmettre environ 30 phytovirus (Blackman & Eastop, 2007). Les virus véhiculés par les pucerons, peuvent être responsables de pertes de rendements, allant jusqu'à 50 % de la production. C'est le cas de *Beet Yellow Virus* (BYV) et le *Beet Mild Yellowing Virus* (BMV) sur la betterave (Smith & Hallsworth, 1990).

Le puceron noir de la fève *Aphis fabae*, est l'une des 14 espèces qui possèdent une grande importance agricole. C'est une espèce polyphage, puisqu'elle infeste une large gamme d'hôtes (Blackman & Eastop, 2007). Dans les pays méditerranéens, la fève est attaquée particulièrement par *A. fabae* et *A. craccivora* et occasionnellement par *Acyrtosiphon pisum* et *Myzus persicae* (Weigand & Bishara, 1991). Les deux premières espèces montrent des préférences climatiques différentes (Klingauf, 1982). Dans les régions froides, c'est *A. 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), *A. craccivora*, devient dominant. El Heneidy *et al.* (1998), ont mentionné qu'en Egypte, *A. craccivora*, est l'espèce dominante sur la fève dans la plupart des régions où cette plante est cultivée. En Algérie, Mouhouche (1997) a signalé que la fève est attaquée principalement par *A. fabae*. Tandis que, Laamari (2004), a mentionné que l'espèce *A. craccivora*, est la mieux représentée sur la fève dans le Sud algérien, tandis qu'au Nord c'est plutôt *A. fabae* qui est la plus dominante. Le puceron noir de la luzerne *A.*

craccivora est parmi les pucerons les plus nuisibles à la fève en Algérie (Laamari, 2004).

La protection des cultures contre les pucerons a eu recours à divers moyens de lutte, dont l'efficacité s'est accrue suite à l'apparition des produits chimiques de synthèse. Malgré que le traitement chimique reste la technique la plus utilisée actuellement mais malheureusement il présente de nombreux inconvénients. En plus des coûts élevés, ces molécules présentent des effets négatifs sur l'environnement (pollution de l'eau, ... etc.) et la santé humaine (résidus) (Mihale *et al.*, 2009). Par ailleurs, elles sont impliquées dans la réduction du potentiel biologique (destruction d'insectes bénéfiques; pollinisateurs, parasitoïdes et prédateurs) (Ruchika et Kumar, 2012) et l'apparition des souches résistantes chez certains ravageurs (Ogendo *et al.*, 2003).

L'utilisation des variétés résistantes représente une alternative prometteuse dans le programme de la lutte intégrée contre les bio-agresseurs des cultures. Le choix de ces variétés peut être économique pour les producteurs, puisque le contrôle des ravageurs est génétiquement incorporé dans la semence. De plus, cela peut réduire l'application de certains insecticides, souvent néfastes pour l'environnement. Cette méthode permet de contrôler plusieurs espèces de ravageurs, notamment, les pucerons. Cette technique permet de produire des aliments sains et sans résidus (Lanteigne, 2014).

Des études sont effectuées sur la fève (*Vicia faba* L.), afin de sélectionner des cultivars résistants aux pucerons, surtout contre *A. fabae* et *A. craccivora*. Parmi ces travaux, il y a lieu de citer ceux d'El Dafrawi *et al.* (1991), Laamai *et al.* (2008).

La résistance de la plante hôte, se définit comme étant la somme des qualités génétiquement héritées, qui rendent un cultivar moins endommagé par un ravageur, comparativement à un cultivar ne possédant pas ces qualités (Smith & Clement, 2012). Trois mécanismes sont impliqués dans la résistance des plantes aux herbivores. Ces mécanismes sont désignés par l'antixénose, l'antibiose et la tolérance (van Emden, 2007).

L'antixénose, ou la non-préférence, est une résistance, conduit les insectes à rejeter une plante particulière pour la ponte, la nutrition et/ou l'exploitation (Dogimont *et al.*, 2010). Chez les pucerons, cette résistance à la colonisation peut se manifester par une forte production d'ailés immigrants, qui quittent la plante en peu de temps (van Emden, 2007).

Par contre, l'antibiose, affecte le potentiel biotique de l'insecte, comme sa croissance, son développement et sa reproduction (Dogimont *et al.*, 2010).

La troisième forme de résistance qui est la tolérance, Thomas (2011), l'a définie, comme étant l'aptitude de la plante à produire un rendement similaire, en présence comme en absence du ravageur. Une plante tolérante est celle qui supporte une forte infestation des pucerons sans être touchée dans sa production

Ces dernières années, plusieurs recherches ont permis d'extraire des extraits d'origine végétale; qui peuvent être utilisés dans le domaine de la protection phytosanitaire (Chermenskaya *et al.*, 2010). Ceux-ci, incluent les activités anti-appétantes et répulsives (Viglianco *et al.*, 2008), dissuasion de l'oviposition, toxicité, stérilité, fécondité faible, inhibition de la respiration, et interruption de la cuticule (Tinzaara *et al.*, 2006). Les extraits des plantes contiennent beaucoup de métabolites secondaires, qui agissent comme des substances répulsives ou toxiques (Maia & Moore, 2011). Les huiles essentielles, comportent plusieurs composés secondaires produits par la plante. Ces substances peuvent être des hydrocarbures, des terpènes, des composés polyphénoliques et des alcaloïdes (Agostini-Costa *et al.*, 2012).

L'activité insecticide des extraits des plantes contre les aphides est largement étudiée à travers la littérature. Ces extraits ont été testés contre *A. fabae* (Salari *et al.*, 2010, 2012; Habou *et al.*, 2011; Mmbone *et al.*, 2014), *A. citricola* (Larif *et al.*, 2013), *A. craccivora* (Baidoo *et al.*, 2012), *A. gossypii* (Bagavan *et al.*, 2009; Salari *et al.*, 2010; 2012), *A. nerii* (Salari *et al.*, 2012), *Brevicoryne brassicae* (Phoofolo *et al.*, 2013; Wubie *et al.*, 2014), *Lipaphis erysimi* (Arya *et al.*, 2014; Sable & Kushwaha, 2014), *Melanocallis caryaefoliae* (Marin-Dominguez *et al.*, 2014), *Myzus persicae* (Pavela *et*

al., 2009; Salari *et al.*, 2010, 2012; Ikeura *et al.*, 2012; Ben Hamouda *et al.*, 2015; Nia *et al.*, 2015), *Rhopalosiphum padi* (Bushra *et al.*, 2014), *Schizaphis graminum* (Chermenskaya *et al.*, 2010) et enfin *Sitobion avenae* (Bushra *et al.*, 2014).

De même, la propriété répulsive des extraits des plantes est beaucoup étudiée, notamment, à l'égard des pucerons *Brevicoryne brassicae* (Wubie *et al.*, 2014) et *Myzus persicae* (Pavela *et al.*, 2009; Ikeura *et al.*, 2012; Salari *et al.*, 2012).

Lors de cette étude, plusieurs objectifs ont été retenus. D'abord, il est remarqué, que beaucoup d'agriculteurs au niveau des régions de l'intérieur, notamment, à Biskra et Batna, cultivent leur propre semence de fève, qu'ils obtiennent et sélectionnent à partir de la production précédente. A la recherche de nouvelles sources génétiques de résistance naturelle, des prospections sont effectuées dans ces régions, afin de collecter le maximum de provenances de ce matériel végétal local. Après purification et sélection, les cultivars jugés homogènes, ont été soumis à une première évaluation de leur niveau résistance au puceron noir de la fève d'*Aphis fabae* en plein champ (station expérimentale du CRSTRA) à El-Outaya (Biskra). Sur la base de cette première évaluation, les cultivars résistants, ont été soumis à une deuxième évaluation sous des conditions semi-contrôlées. Lors de cette deuxième évaluation, il est procédé d'une part à la confirmation du niveau de résistance démontré en plein champ et d'autre part, à la détermination des mécanismes impliqués dans cette résistance. Par ailleurs, il est procédé à l'évaluation des effets répulsifs (antixénotique) et insecticides des extraits méthanoliques et aqueux, obtenus à partir des jeunes feuilles des cultivars les plus résistants à l'égard de ce puceron.

Le manuscrit a été scindé en deux chapitres. Le premier est réservé à la présentation du matériel et des méthodes de travail appliquées sur le terrain et au laboratoire. En deuxième chapitre, il est présenté les résultats ainsi que les discussions développées.

Chapitre I: Matériel et méthodes

I.1. Matériel

I.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal employé lors du premier essai réalisé en plein champs comporte 15 cultivars de fève *Vicia faba* major L. retenus comme une semence de base par plusieurs agriculteurs activant dans les wilayas de Biskra (10 cultivars) et Batna (05 cultivars) (Tableau 1).

Tableau 1: Codes et origines des 15 cultivars de fève retenus pour cette étude.

Code de cultivars	Origine
1	Zeribet El-Oued (Biskra)
2	Sidi Okba (Biskra)
3	El-Doucen (Biskra)
4	Tilatou (Batna)
5	El-Kantara (Biskra)
6	Maafa (Batna)
7	Aïn Naga (Biskra)
8	M'ziraa (Biskra)
9	Beni Fedhala (Batna)
10	Moulia (Batna)
11	Oueled Aouf (Batna)
12	Zeribet El-Oued (Biskra)
13	Zeribet El-Oued (Biskra)
14	Zeribet El-Oued (Biskra)
15	El-Doucen (Biskra)

L'aspect externe des graines des 15 cultivars sélectionnés lors de cette étude est présenté sur la figure 1.

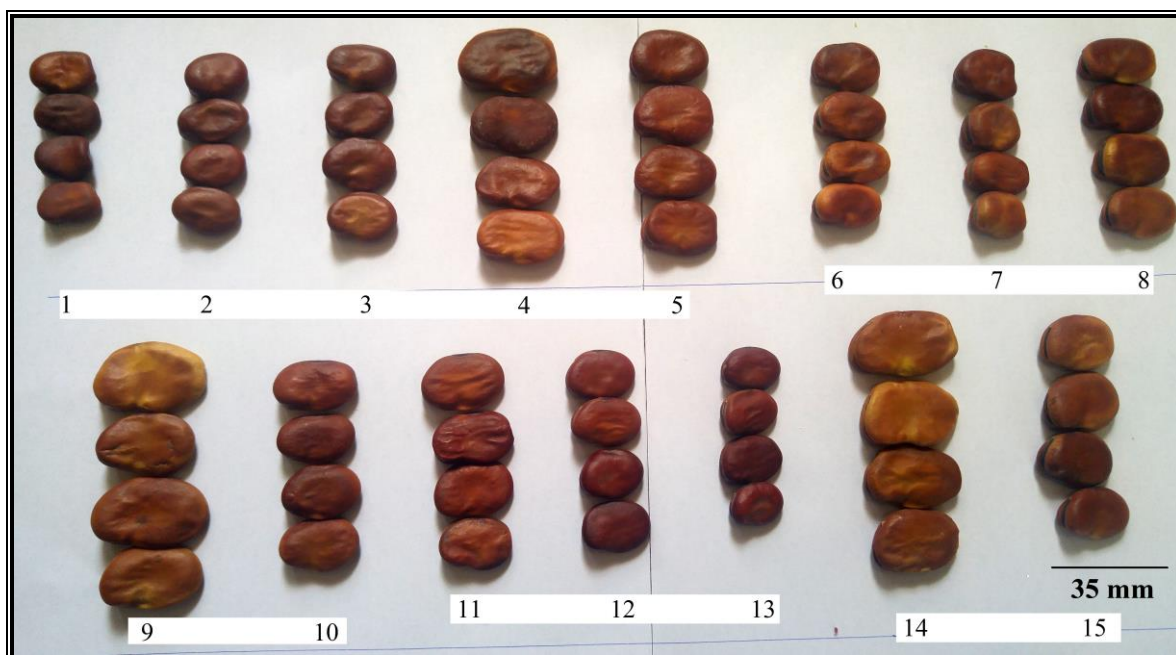


Figure 1: Aspect externe des graines des 15 cultivars retenus lors de cette étude.

I.1.2. Matériel animal

Dans les deux essais effectués en plein champ, les cultivars de fève ont été infestés artificiellement par les adultes aptères du puceron noir de la fève *A. fabae* (Figure 2). La souche de ce puceron a été récoltée sur des plants de fève à El-Kantara (Biskra) en février 2011. L'élevage permanent de ces premiers individus a été réalisé dans une mini-serre au niveau de la station expérimentale du Centre de la Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (CRSTRA) à El Outaya (Biskra) (Figure 3).



Figure 2: Forme adulte aptère d'*Aphis fabae* utilisée dans l'infestation artificielle des plants de fève.



Figure 3: Serre tunnel utilisée pour l'élevage de la souche de base du puceron noir *Aphis fabae* utilisé pour l'infestation artificielle des plants de fève.

I.2 Méthodes

1.2.1 Evaluation de la résistance en plein champ

Les 15 cultivars retenus pour cette étude sont semés le 17 janvier 2011, à raison de 12 graines par cultivar, dans une parcelle située dans la station expérimentale des bio-ressources d'El-Outaya (CRSTRA) (Figure 4). La profondeur de semis est fixée à 5 cm. L'espacement est de 100 cm entre les lignes et 88 cm entre les plants. Le dispositif adopté a été présenté sur la figure 24. Il est noté que la culture est conduite sans traitement insecticide et sans fertilisation. L'irrigation est assurée par submersion à partir de l'eau du barrage de la fontaine des gazelles.

Parmi les 15 cultivars semés (12 graines par cultivar), 14 cultivars, ont présenté des taux de germination supérieure à 50 %. Chez le cultivar numéro 2, seulement 2 graines ont germé, en donnant des plants chétifs comparativement aux autres cultivars. C'est pour cette raison, il a été retiré de l'étude.

Au stade trois feuilles, les 14 cultivars restant, ont subi une infestation par un adulte aptère d'*A. fabae* (El-Dafrawi *et al.*, 1991). Pour évaluer l'importance des colonies aphidiennes formées, il est procédé à des trois comptages, soient à 10, 20 et 30 jours après la date de l'infestation artificielle des plants (Meradsi, 2009; Lebbal, 2010).



Figure 4: Vue générale de la parcelle retenue pour la culture des 15 cultivars de fève.

2	3	4	8	7
14	12	9	5	1
13	15	6	10	11

Figure 5: Disposition des 15 cultivars de fève dans la parcelle d'étude.

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 chaque évaluation. Cette échelle, comporte les classes suivantes :

- Classe 1: le cultivar est considéré comme résistant; si le nombre est $\leq$ à 5 pucerons par plant ;
- Classe 2 : le cultivar est considéré comme tolérant; si le nombre est compris entre 6 et 20 aphides par plant ;

- Classe 3 : le cultivar est considéré comme sensible; si la colonie formée comporte entre 21 et 50 pucerons par plant ;
- Classe 4 : le cultivar est considéré comme très sensible; si le nombre d'aphides par plant est supérieur à 50.

1.2.2 Interaction résistance - aspect morphologique des cultivars

Smith (2005) a mentionné que l'aspect externe de la plante peut déterminer sa résistance aux ravageurs. Dans cette partie de l'étude, il est introduit dans l'essai uniquement les cultivars qui se sont classés comme résistants au cours de la première évaluation effectuée en plein champ. Sur ces cultivars, il est procédé à leur caractérisation morphologique selon l'échelle proposée par UPOV (2003) (Tableau 2). Afin de ressortir l'interaction entre la morphologie externe des plants et leur niveau de résistance au puceron noir de la fève, il est introduit également dans l'essai le cultivar jugé comme très sensible au moins durant une évaluation.

Lors de ce deuxième essai, effectué le 15 mars 2011, le semis des graines de fève des cultivars retenus est réalisé à raison de 20 graines par cultivar. Cette opération est effectuée également au niveau de la station des bio-ressources d'El-Outaya (CRSTRA). La profondeur de semis est fixée à 5 cm. L'espacement est de 120 cm entre lignes et 35 cm entre les plants. Les mensurations morphométriques retenues sont la hauteur des plants (cm) et la surface foliaire (cm²) (Figure 6).

Tableau 2: Normes des caractères morphologiques retenus dans cette étude selon l'échelle UPOV (2003).

Caractère	Stade phénologique	Organe de la plante
Hauteur	60-69 Stade floraison	Plante entière
Surface foliaire (longueur × largeur)	62-65 Ouverture des fleurs de la deuxième grappe (62) jusqu'à pleine floraison (65)	Foliole de la paire basale du second nœud florifère

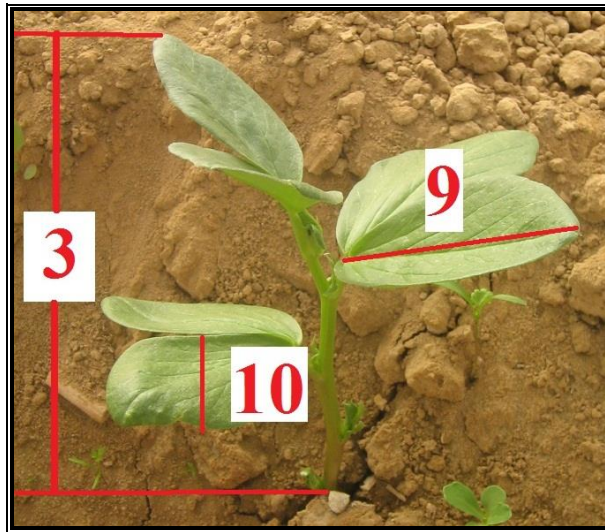


Figure 6: Mesure de quelques caractères morphologiques. **3:** hauteur du plant, **9:** longueur de la foliole, **10:** largeur maximale de la foliole.

1.2.3 Etude des mécanismes de résistance

Les cultivars classés comme résistants en plein champ, sont retenus pour une série d'évaluations sous un abri serre et au laboratoire. L'implication de chaque mécanisme dans la résistance des différents cultivars a été évaluée après une comparaison avec le témoin le plus sensible. Cette partie de l'étude a comporté une série de tests afin d'évaluer la résistance par antixénose (non préférence), par antibiose et par tolérance.

1.2.3.1 Antixénose

Fartek (2011) a signalé que la résistance par antixénose (non-préférence), désigne l'ensemble des mécanismes de la plante, qui entraînent son rejet par l'insecte et empêchent sa colonisation.

Afin de déterminer l'implication de l'aspect externe ou l'émission des différents cultivars en substances chimiques, dans l'attractivité à l'égard du puceron *A. fabae*, il est procédé à des tests en pleine lumière (sous serre) et en obscurité (au laboratoire).

I.2.3.1.1 Essai en lumière

Afin d'évaluer l'attractivité de l'aspect externe (silhouette) des différents cultivars sur le puceron noir de la fève, il procéda à un premier essai en pleine lumière. Pour cela, les graines des cultivars résistants, sont semées séparément le 2 mars 2014 dans des petits gobelets de 6,5cm de diamètre sur 7,5cm de hauteur (Figure 7A). Au stade 2 feuilles, les petits gobelets portant les jeunes plants (un plant par cultivar), sont regroupés et placés aléatoirement dans un grand pot circulaire (25,5cm de diamètre × 25cm de hauteur) (Figure 7B). Les plants représentant les différents cultivars sont positionnés en cercle et aux mêmes distances par rapport au centre du grand pot (Figure 7B). Cette opération est répétée 4 fois (blocs).

Toujours au stade 2 feuilles, soit le 15 mars 2014, 20 adultes aptères sont placés au centre du grand pot (Figure 7B). Cette opération a nécessité l'emploi de 80 adultes aptères pour les 4 blocs. Dans leur étude sur la résistance antixénotique, Budak *et al.* (1999) ont suivi les mêmes opérations pour l'infestation artificielle des plants. D'après Castro *et al.* (1999), (2001) et (2005), l'évaluation de l'action antixénotique chez des variétés d'une même espèce végétale, nécessite l'application d'un dispositif, de telle sorte que les pucerons testés peuvent exprimer librement leur choix. Ces auteurs ont noté que les variétés testées doivent être du même âge et ils ajoutent que le stade 2 feuilles est le plus convenable pour ce genre de tests.

Le niveau d'attractivité (préférence ou non préférence) est estimé sur la base du nombre de pucerons trouvés sur chaque cultivar et cela 24h après l'emplacement des pucerons au centre du grand pot.

I.2.3.1.2 Test en obscurité

Les graines des cultivars testés sont semées le 2 mars 2014 dans des petits gobelets de 6,5cm de diamètre sur 7,5cm de hauteur (Figure 7C). Au stade 2 feuilles, les jeunes plants, sont placés dans un grand pot circulaire de même manière que le test effectué en pleine lumière. Ce dispositif en bloc randomisé est répété 4 fois.

Au stade 2 feuilles, soit le 18 mars 2014, 20 adultes aptères sont placés au centre du grand pot. Une fois infestés, les grands pots sont couverts cette fois par des sachets noirs en plastique et laissés à l'obscurité (Figure 7D). Castro *et al.* (1999) et (2001);

Hesler & Thrap (2005), ont mentionné que lorsque les pucerons sont placés en obscurité, ils n'utilisent pas la silhouette de la plante pour s'orienter mais plutôt ils exploitent les substances volatiles émises par cette dernière. Après 24h de l'infestation artificielle, il est procédé au comptage des pucerons sur chaque plant. Ce test est effectué au laboratoire.

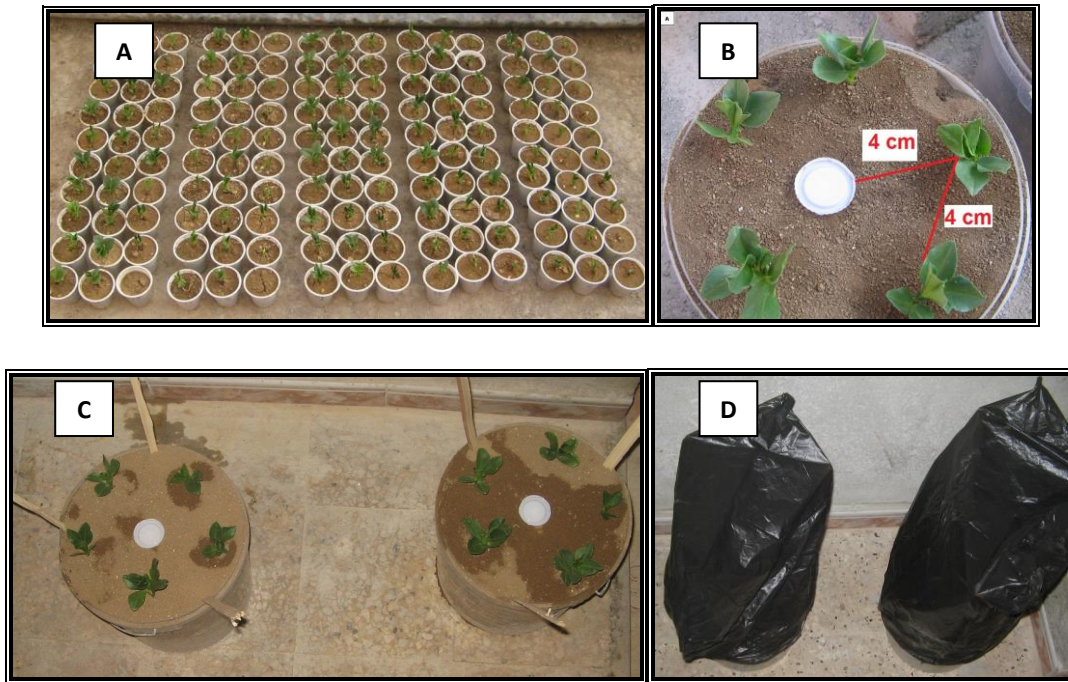


Figure 7: Mise en culture pour le test d'antixénose. A: Emplacement des plants des cultivars testés dans les gobelets. B: Emplacement des plants dans le grand pot. C: utilisation des supports nécessaire pour l'emplacement des sachets noirs, D: Couverture des grands pots avec des sachets en plastique noir.

I.2.3.2 Antibiose

Le mécanisme de l'antibiose se traduit par les effets négatifs de la plante résistante sur la biologie de l'insecte ravageur (Smith, 2005). Le même auteur a mentionné que la résistance antibiotique d'une plante, peut réduire sensiblement le poids et la taille du corps de l'insecte, elle peut également allonger sa durée de vie larvaire et réduire sa fécondité. Les substances allélochimiques, et les barrières physiques et morphologiques, sont des éléments de défenses des plantes qui peuvent contribuer à cette antibiose.

Afin d'évaluer l'effet antibiotique des cultivars de fève classés comme résistants sur les paramètres biotiques et démographiques d'*A. fabae*, des plants sont cultivés séparément le 2 mars 2014 dans des sacs en plastique de 13 cm de diamètre sur 14 cm de profondeur, et placés selon un dispositif de type « blocs randomisés » avec 8 répétitions (Figure 8). Le test s'est déroulé sous abri serre.



Figure 8: Disposition des plants des cultivars pour le test d'antibiose.

Au stade 2 feuilles (13 mars 2014), chaque plant est infesté par un adulte aptère d'*A. fabae* (Leather *et al.*, 1983; Leszczynski *et al.*, 1989; Tolmay *et al.*, 1999; Traiceveski & Ward, 2002; Lage *et al.*, 2004; Smith *et al.*, 2004; Hesler & Tharp 2005 ; Ranger *et al.*, 2007; Hesler *et al.*, 2007 ; Golowska *et al.*, 2008; Kordan *et al.*, 2008). Après avoir donné entre 5 à 8 larves, l'adulte utilisé initialement pour l'infestation de chaque plant est éliminé. Une fois que ces larves ont atteint le stade imaginal, un seul individu est maintenu sur chaque plant.

Les femelles formées sur les différents cultivars sont ramenées au laboratoire pour effectuées certaines mensurations. Leur taille (mm²) est calculée selon la formule proposée par Taylor (1975). Elle correspond à la longueur du spécimen (du front à la base de la cauda) × la largeur la plus importante au niveau de l'abdomen (Figure 9). Leur poids est estimé à l'aide d'une balance de précision (Sartorius), d'une sensibilité de 0,0001g.

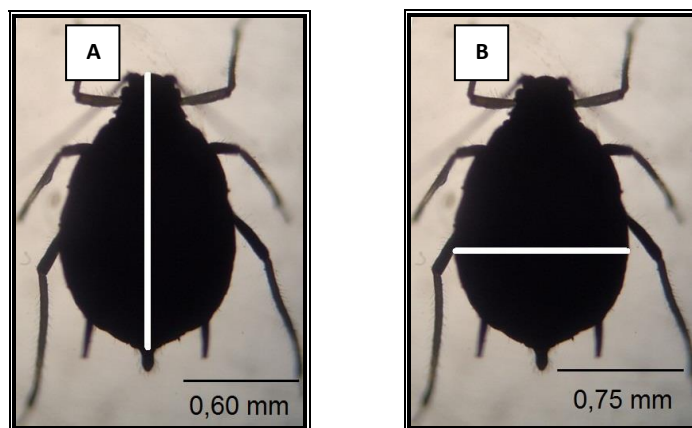
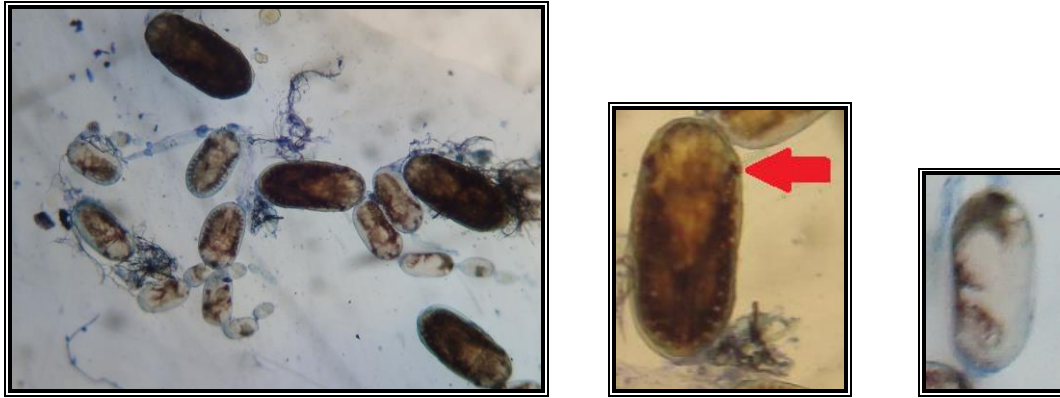


Figure 9: Mesure de la longueur (A) et de la largeur (B) de l'adulte d'*A. fabae*.

Ces mêmes femelles vierges sont retenues pour la détermination de leur fécondité potentielle. Dans une goutte 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 la femelle pour faire ressortir l'ensemble des embryons. Le nombre total des embryons a été ensuite compté.

Le classement des embryons est basé sur la taille. Les embryons qui ont une grande taille et possédant des yeux pigmentés sont considérés comme développés (Leather & Wellings, 1981; Llewellyn & Brown, 1985; Sauge *et al.*, 1998; Traicevski & Ward, 2002). Les autres embryons ne présentant pas ces caractères sont considérés comme peu développés (Figure 10).



A- Nombre total d'embryons. **B-** Embryon développé. **C-** Embryon peu développé.

Figure 10 A, B et C: Les différents types d'embryons obtenus après dissection et coloration au bleu de méthylène d'une femelle d'*A. fabae* (photos personnelles).

Sur l'individu adulte retenu sur la plante, des contrôles quotidiens sont effectués afin de déterminer les paramètres biotiques et démographiques suivants :

- Durée de développement larvaire (jours);
- Période pré reproductive (jours);
- Période reproductive (jours);
- Longévité de l'adulte (jours);
- Durée de vie totale (jours);
- Fécondité totale et journalière;
- Taux d'accroissement naturel $r_m = 0,74 (\log_e \mathbf{Md})/\mathbf{d}$ (Wyatt & White, 1977).

Où **d**: est la période pré reproductive (de la naissance à la première larviposition), **Md**: est le nombre moyen de larves pondues pendant une période de durée égale à **d** et **0,74**: est une constante correctrice.

- Le taux net reproductif $R_o = \sum l_x m_x$

(**l_x** : le pourcentage des larves qui sont arrivées au stade adulte, **m_x** : fécondité moyenne journalière d'une femelle).

-
- Le temps de génération $T = \log R_0 / r_m$ (jour);
 - Le temps de doublement $DT = \log 2 / r_m$ (jour);
 - Le taux de multiplication TM (jour^{-1}) = fécondité totale par femelle/durée totale de vie (jour) (Kashyap *et al.*, 1988 cités par Laamari *et al.*, 2008).

I.2.3.3 Tolérance

La tolérance, est définie comme étant la capacité de la plante à ne pas être affecter dans sa physiologie, sa croissance et son développement, malgré la présence du puceron. C'est un concept à valeur agronomique mais sans intérêt dans le cadre d'une étude de résistance aux pucerons vecteurs, puisqu'elle n'affecte pas directement l'insecte (Fartek, 2011).

Afin d'évaluer ce mécanisme, dans une serre en plastique, 10 graines de chaque cultivar jugé résistant lors des différentes évaluations, sont semées séparément le 2 mars 2014 dans des sacs en plastique de 13cm de diamètre $\times$ 14 cm de profondeur et disposés en blocs randomisés. Chaque cultivar est représenté par 10 plants, dont 5 sont infestés artificiellement par des pucerons, alors que, les 5 autres sont laissés comme des témoins.

Au stade 5 feuilles (12 avril 2014), les 5 plants représentant chaque cultivar sont infestés par 100 larves d'*Aphis fabae*, soit 20 larves par plant (6 larves L_2 , 10 larves L_3 et 4 larves L_4) (Smith *et al.*, 2004). L'autre moitié des plants (5 plants) est retenue comme un témoin non infesté. Juste avant l'infestation, les hauteurs des plants sont mesurées.

En ce qui concerne la perte de hauteur, il est procédé à la mensuration de la partie aérienne de chaque plant juste avant l'infestation et 10 jours après (22 avril 2014) celle-ci.

Le taux de perte de la hauteur des plants est déterminé à l'aide de la formule suivante:

$$PH (\%) = (H_{pni} - H_{pi}) / H_{pni} \times 100 \quad (\text{Frei } et al., 2004).$$

PH: perte de la hauteur, **H_{pi} :** hauteur du plant infesté (cm), **H_{pni} :** hauteur du plant non infesté (cm).

Il est noté que la hauteur des plants est mesurée du collet jusqu'au point le plus haut de la tige.

I.2.4 Analyse chimiques de quelques métabolites secondaires

Les métabolites secondaires produits par les plantes peuvent exercer un effet attractif ou répulsif sur les insectes herbivores (Fartek, 2011). Tosh (2003) cité par Fartek (2011) a noté que chaque espèce végétale émet un spectre de métabolites, spécifiques du point de vue qualitatif et quantitatif. Ces métabolites peuvent être émis sous forme de composés volatils, perçus à longue distance par les pucerons, mais ils peuvent aussi être présents à la surface de la plante, dans les cires cuticulaires, ou encore exsudés par les trichomes glandulaires (Müller & Riederer, 2005 cités par Fartek, 2011).

Regnault-Roger (2016) a mentionné que les substances phénoliques jouent un rôle très actif dans les mécanismes de résistance des plantes contre leurs bio-agresseurs. Elles peuvent inhiber des enzymes hydrolytiques des insectes et forment même un obstacle à la diffusion des toxines parasitaires. Regnault-Roger (2016) a noté également que les flavonoïdes sont des substances répulsives, antiappétentes, inhibitrices de la digestion ou de la reproduction des insectes. Strebler (1989) a signalé de sa part, que chez le puceron *Schizaphis graminum* élevé en présence de flavonoïdes, il est remarqué une faible fécondité des femelles et une forte mortalité de la progéniture.

Pour mieux évaluer l'implication des métabolites secondaires produits par la fève, le feuillage des cultivars classés comme résistants au puceron noir *A. fabae*, a été analysé. Après leur séchage à la température ambiante et à l'obscurité pendant 20 jours, les feuilles sont finement broyées à l'aide d'un moulin à café (Mahmoudi *et al.*, 2013).

I.2.4.1 Dosage des polyphénols totaux

L'évaluation des taux des polyphénols totaux dans le feuillage des cultivars de fève résistants est effectuée selon la méthode du bleu de Prusse de Price et Butler (Butler, 1989), modifiée par Graham & Szabo (1992) pour donner une meilleure stabilité de la couleur. La différence entre la méthode originale et la méthode modifiée réside dans l'utilisation du chlorure ferrique (FeCl_3) à la place du $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2$ comme second réactif.

Un échantillon de 1g de feuilles sèches finement broyé est soumis à deux extractions successives pendant 2×20 minutes. Lors de la première extraction, l'échantillon a été mélangé avec 60 ml d'eau distillée et 140 ml de méthanol (70%). Lors de la deuxième extraction, il est ajouté encore 10 ml d'eau distillée et 0,02 g de métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Après ces deux opérations, une quantité de 40 ml de la solution est placée dans un flacon couvert et agitée pendant 20 minutes. La solution a été filtrée à travers un papier Whatman.

La teneur en polyphénols totaux est évaluée par la méthode photométrique. Cette dernière consiste à mélanger 0,5 ml de la solution préalablement préparée avec 1ml de Na_2CO_3 , 5 ml d'eau distillée et 1 ml de Folin-Ciocalteu.

L'absorbance est mesurée à 725 nm par un spectrophotomètre UV (Shimadzu 120-01, Japon). Une gamme étalon est établie séparément avec l'acide gallique (Tableau 10) pour calculer la concentration des polyphénols dans chaque extrait. Les résultats du dosage sont exprimés en (mg) d'équivalent d'acide gallique par (g) de feuilles sèches (Figure 11).

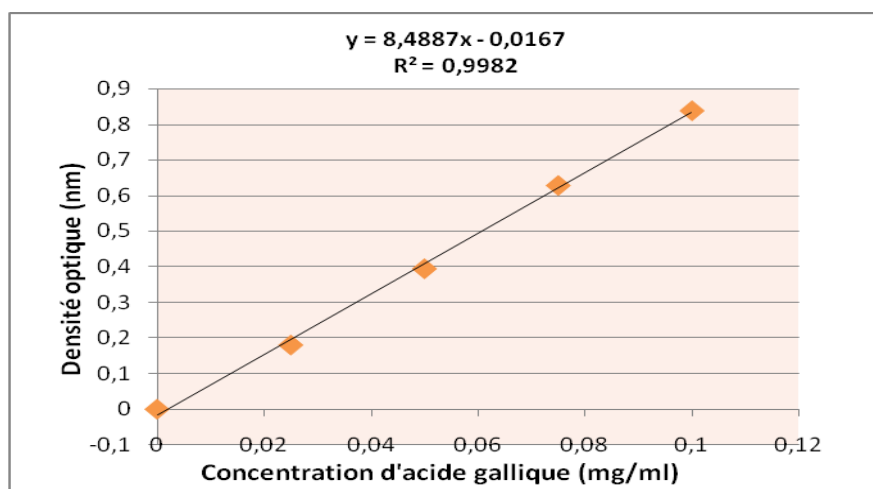


Figure 11: Gamme d'étalonnage des polyphénols totaux de l'extrait méthanolique.

La gamme d'étalonnage a été obtenue après avoir dissout 25 mg de l'acide gallique dans 25 ml de méthanol. A partir de cette solution mère, des concentrations de 0,025, 0,05, 0,075 et 0.1 mg/ml sont préparées (Tableau 3).

Tableau 3: Gamme étalon des polyphénols totaux de l'extrait méthanolique.

Solution d'acide gallique (1 mg/ml)	0	0,025	0,05	0,075	0,1
Méthanol (ml)	0,5	0,475	0,45	0,425	0,4
Concentration (mg/ml)	0	0,025	0,05	0,075	0,1
Densité optique (nm)	0	0,18	0,394	0,628	0,837

I.2.4.2 Dosage des flavonoïdes totaux

La quantification des flavonoïdes totaux est mesurée par l'utilisation de la méthode photométrique. Après la préparation des échantillons, qui consiste à mélanger 1 ml de l'extrait méthanolique préparé pour l'extraction des polyphénols totaux, avec 1 ml d' AlCl_3 .

L'absorbance est mesurée à 430 nm, en utilisant un spectrophotomètre UV. Une gamme étalon est établie séparément avec la quercétine (Tableau 4) pour calculer la concentration des flavonoïdes dans chaque extrait. Les résultats du dosage sont exprimés en μg d'équivalent de quercétine par g de feuilles sèches (Figure 12).

La gamme d'étalonnage a été préparée après avoir dissout 50 μg de la quercétine dans 25 ml de méthanol. A partir de cette solution mère, les concentrations 5, 10, 15, 20 et 25 $\mu\text{g}/\text{ml}$ sont préparées.

Tableau 4: Gamme d'étalonnage des flavonoïdes de l'extrait méthanolique.

Solution de quercétine (25 $\mu\text{g}/\text{ml}$)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Méthanol (ml)	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
Concentration ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	0	5	10	15	20	25
Densité optique (nm)	0	0,334	0,607	0,818	0,958	1,142

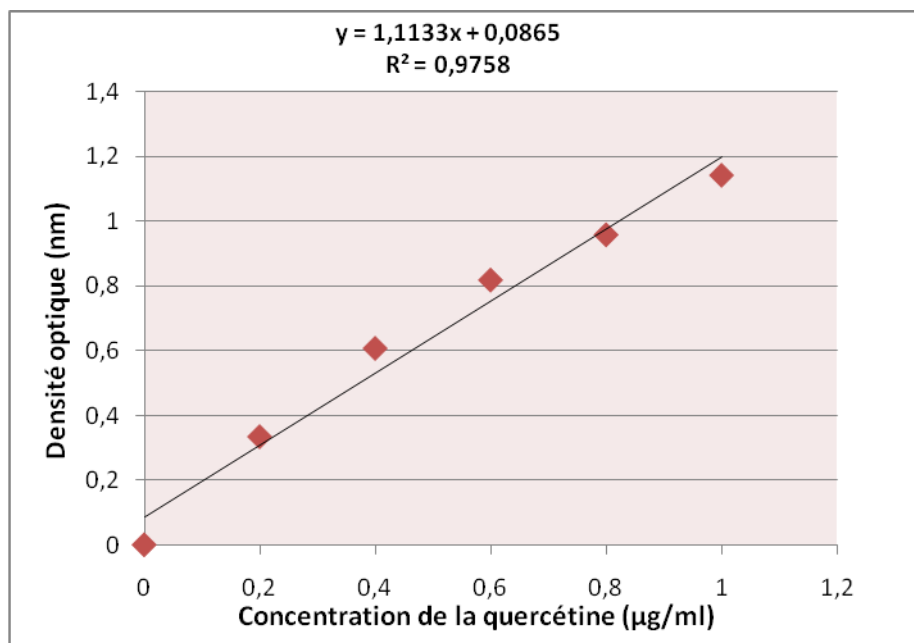


Figure 12: Courbe d'étalonnage des flavonoïdes totaux de l'extrait méthanolique.

1.2.5 Effet antixénotique et insecticide des extraits méthanolique et aqueux des feuilles du cultivar résistant

Dans cette partie, l'action insecticide des extraits des feuilles du cultivar classé comme résistant, a été évaluée après leur application sur des feuilles fraîches du cultivar sensible, préalablement infestés par les pucerons. Cette évaluation est effectuée au laboratoire.

Les graines des deux cultivars sont semées séparément dans des sacs en plastique de 13 cm de diamètre × 14 cm de profondeur et installés sous un abri serre. Au stade 3 feuilles, il est procédé à la section des feuilles du cultivar le plus sensible au niveau du pétiole. Ces feuilles fraîches sont placées séparément dans des boîtes de Pétri en attendant leur infestation par les pucerons et leur traitement avec les extraits des feuilles du cultivar le plus résistant.

Pour l'obtention de l'extrait méthanolique à partir des feuilles du cultivar résistant, il est procédé de la même manière que le dosage des composés phénoliques.

Pour l'extrait aqueux, 1 g de feuilles sèches du cultivar résistant est d'abord ajouté à un 1 litre d'eau distillée (0,1%). Après agitation pendant 20 minutes, la solution a été filtrée par le papier Whatman.

I.2.5.1 Effet antixénotique (répulsif)

Dans un premier temps, l'action antixénotique a été évaluée en pleine lumière. Dans cet essai, les trois types de feuilles du cultivar sensible, sont mis à la disposition des pucerons dans une même boîte de Pétri. Le premier type de feuilles est traité seulement par l'eau distillée (témoin), le deuxième type par l'extrait méthanolique du cultivar résistant et le dernier type par l'extrait aqueux des feuilles du même cultivar (Figure 13). Les trois types de feuilles sont submergés pendant trois secondes dans chaque solution.

Les trois feuilles traitées sont placées au hasard dans une boîte de Pétri (9 cm de diamètre $\times$ 1,3 cm d'hauteur) (Castro *et al.*, 2005). Juste après leur traitement, 12 adultes aptères du puceron sont placés au centre de chaque boîte de Pétri (Budak *et al.*, 1999). Les boîtes sont disposées en bloc randomisé avec 10 répétitions (Figure 13). Un comptage des pucerons sur chaque feuille est effectué après 6h.

Le même dispositif qui a été réalisé en lumière est répété en obscurité (Castro *et al.*, 1999; Hesler & Tharp, 2005) avec 5 répétitions. Dans ce cas, les boîtes de Pétri sont couvertes par un film plastique noir. Après 6h de l'emplacement des pucerons au centre de chaque boîte, il est procédé au comptage des individus sur chaque feuille.

I.2.5.2 Effet insecticide

Les trois feuilles traitées sont placées séparément dans des boîtes de Pétri (9 cm de diamètre $\times$ 1,3 cm d'hauteur). Le test est répété 7 fois pour chaque traitement (solution). Un adulte aptère est placé sur chaque feuille traitée. Après 24h, le nombre d'adultes morts est compté afin de calculer le taux de mortalité. Les insectes sont considérés morts, quand aucun mouvement (jambe ou antenne) n'est observé (Salari *et al.*, 2010).

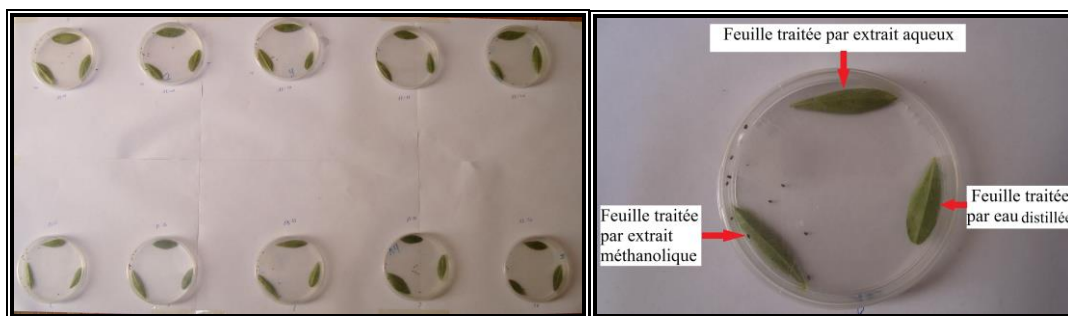


Figure 13: Disposition des boîtes de Pétri pour le test antixénotique des extraits méthanoliques et aqueux des feuilles du cultivar de fève le plus résistant.

I.2.6 Analyse statistique

Une analyse de variance (ANOVA à un facteur) au seuil de signification de 5% est effectuée dans le but de faire ressortir une relation possible entre le niveau de résistance des cultivars (résistants et très sensibles) et certains aspects morphologiques, à s'avoir : la hauteur du plant (3) et la surface foliaire. Ainsi, tous les paramètres testés des mécanismes d'antixénose (en lumière et en obscurité), d'antibiose, de tolérance, de teneur en polyphénols et en flavonoïdes totaux, effet antixénotique des feuilles traitées sur *A. fabae* (en lumière et en obscurité) sont exploités statistiquement. L'analyse de variance est appliquée et les moyennes sont classées selon le test de Duncan au seuil de signification de 5% (Gomez & Gomez, 1984).

Il est à noter également que la dépendance entre le poids de l'adulte aptère, la surface de l'adulte, le nombre total d'embryons, le nombre d'embryons développés et la fécondité totale, sont retenus pour une analyse de corrélation partielle.

Une application du test Khi-deux (χ^2) à 5% est adoptée pour comparer l'effet insecticide des extraits méthanolique et aqueux sur le taux de mortalité des adultes d'*A. fabae*. Toutes les expériences sont conçues dans un protocole du type bloc randomisé. Toutes les analyses sont effectuées avec le logiciel IBM SPSS Version 23.0.0.0 (2015).

Chapitre II: Résultats et discussions

II.1 Evaluation de la résistance en plein champ

II.1.1 Résultats

L'importance des colonies d'*A. fabae* formées sur chaque cultivar de fève testé est retenue comme un critère d'évaluation de son niveau de résistance après trois comptages effectués 10, 20 et 30 jours de l'infestation artificielle des plants. Les résultats obtenus ont permis de répartir les 14 cultivars en 9 résistants et 5 tolérants lors du premier comptage. Durant le deuxième comptage, seulement 8 cultivars sont classés résistants. Au cours du dernier comptage, 9 cultivars sont classés comme résistants et un comme très sensible (Tableau 5). Il n'est retenu comme résistants que les cultivars qui ont maintenu ce même niveau de résistance lors des trois évaluations. C'est le cas des cultivars 1, 9, 12, 13, 14 et 15.

Tableau 5: Classement des cultivars de fève selon les degrés d'infestation par le puceron *A. fabae* en plein champ après 10, 20 et 30 jours de l'infestation artificielle des plants.

Niveau de résistance	Comptage		
	Premier (10 jours)	Deuxième (20 jours)	Troisième (30 jours)
Cultivars résistants	1, 5, 7, 8, 9, 12, 13, 14 et 15	1, 5, 9, 10, 12, 13, 14 et 15	1, 3, 6, 9, 10, 12, 13, 14 et 15
Cultivars tolérants	3, 4, 6, 10 et 11	4 et 7	7 et 11
Cultivars sensibles	0	3 et 8	5 et 8
Cultivars très sensibles	0	6 et 11	4

II.1.2 Discussion

Parmi les 14 cultivars retenus pour estimer leur résistance naturelle vis à vis du puceron noir de fève, *A. fabae*, 6 cultivars sont classés résistants après les 3 comptages effectués 10, 20 et 30 jours de l'infestation artificielle des plants. Par contre, 3 sont classés comme très sensibles au moins une fois après les 3 comptages (Tableau 5).

La résistance naturelle de la fève aux pucerons noirs (*Aphis fabae* et *A. craccivora*) a bénéficié de plusieurs travaux. En utilisant la même échelle d'évaluation, Meradsi (2009), a classé 19 cultivars comme résistants à *A. fabae*, parmi les 68 cultivars testés en provenance de Biskra. Par ailleurs, Lebbal (2010), a retenu comme résistant au puceron noir de la luzerne (*A. craccivora*), 16 cultivars parmi les 62 cultivars collectés toujours à Biskra. En Egypte, El-Defrawi *et al.* (1991) ont pu sélectionner 114 cultivars de fève résistants à *A. craccivora* parmi les 7156 cultivars étudiés pendant quatre ans. De sa part, Khelfa (2004) a constaté que parmi les 48 cultivars de fève collectés à partir de plusieurs localités de Biskra, 5 ont montré un certain niveau de résistance à *A. craccivora* après des tests réalisés en plein champ.

Plusieurs paramètres peuvent être impliqués dans cette résistance naturelle de la fève, notamment, en plein champ. Parmi ceux-ci, il y a lieu de citer la souche du puceron et le stade phénologique des plants lors de l'infestation artificielle des plants. Par ailleurs, il est à noter que les plants cultivés en plein champ ne sont pas protégés, ce qui permet à d'autres pucerons émigrants de s'installer sur les plants des cultivars les attractifs.

Huggett *et al.* (1999) ont mis en évidence que la résistance des plantes peut changer en fonction du stade phénologique. Ces auteurs ont remarqué 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. Par ailleurs, Alvarez *et al.* (2006), ont remarqué que les jeunes plants de certains génotypes de *Solanum* sp., sont plus résistants au puceron vert du pêcher (*Myzus persicae*), que les plants âgés. De même, Smith (2005) a constaté que chez certaines graminées, la résistance aux pucerons ne se manifeste qu'à partir d'un stade avancé.

Afin d'éviter l'action du stade phénologique de la plante sur le niveau de résistance, il est procédé dans cet essai à des comptages et des évaluations à 3 dates différentes (10, 20 et 30 jours) de l'infestation artificielle par *A. fabae*. Effectivement, les résultats ont montré qu'il y a des cultivars qui sont jugés résistants lors des deux

premiers comptages mais qui sont devenus sensibles lors du dernier comptage. C'est le cas du cultivar 4, qui a perdu son niveau de résistance après le troisième comptage (Tableau 5).

Larsson (2002) a noté que les caractéristiques spécifiques des plantes comme les métabolites primaires et secondaires, les facteurs physiques et le stade de développement, peuvent déterminer le comportement et la biologie des bio-agresseurs. De leur côté, Bernays & Chapman (1994) ont mentionné que les substances produites par les variétés d'une même espèce végétale, sont qualitativement et quantitativement variables. A titre d'exemple, Berlandier (1996) a signalé que certains composés secondaires, tels que les alcaloïdes lupanine et 1-hydroxylupanine, émis par *Lupinus angustifolius* (lupin), sont responsables en partie de la résistance de certaines variétés à *M. persicae*. De leur côté, Chaman *et al.* (2003), ont noté que des enzymes, comme, phénylalanine ammonia-lyase, polyphénol oxydase, et peroxydase, sont déterminantes dans la résistance des plantes. La phénylalanine ammonia-lyase transforme la phénylalanine en acide trans-cinnamic, responsable de la synthèse des substances toxiques aux phytophages (Leszczynski *et al.*, 1989).

II.1.3 Conclusion

D'après les résultats obtenus, il est remarqué que parmi les 14 cultivars testés, 12 sont classés comme résistants au puceron *A. fabae* au moins une fois. Tandis que, 6 cultivars (1, 9, 12, 13, 14 et 15) ont gardé ce niveau de résistance durant les trois comptages effectués. Par contre, 3 cultivars (4, 6 et 11) sont considérés comme très sensibles au moins une fois. Le reste de cultivars (3, 5, 7, 8 et 10) a montré un niveau de résistance variable dans le temps.

II.2 Aspect morphologique des cultivars

Dans cette partie, certains aspects morphologiques des cultivars résistants (1 et 12) ont été comparés avec ceux des cultivars sensibles (4 et 11) afin de ressortir la possibilité de leur intervention dans les niveaux d'infestation par le puceron noir *A. fabae*.

II.2.1 Résultat

Sur le tableau 6, il est présenté les résultats des mensurations effectuées sur les tiges et le feuillage des cultivars classés comme résistants et très sensibles après les trois comptages.

La hauteur moyenne chez les cultivars résistants était comprise entre 13,78 cm (cultivar 1) et 9,02 cm (cultivar 12). Par ailleurs, la surface de la foliole de la paire basale du second nœud florifère était comprise entre 9,09 cm² (cultivar 12) et 17,02 cm² (cultivar 1) (Tableau 6).

Tableau 6: Caractères morphologiques des cultivars de fève retenus.

Plants	Cultivars							
	1		4		11		12	
	Hauteur (cm)	Surface foliaire (cm ²)	Hauteur (cm)	Surface foliaire (cm ²)	Hauteur (cm)	Surface foliaire (cm ²)	Hauteur (cm)	Surface foliaire (cm ²)
1	18,5	21,45	09,9	16,2	09,7	20,35	04,4	11
2	14	16,1	11,6	8,8	11,3	14,08	11,1	11,27
3	14,7	13,52	13,1	13,53	07,4	10,14	06,1	5,44
4	13,1	19,14	15,3	15,75	10,2	14,84	10,3	6,65
5	12,4	12,72	11,5	15,04	11,3	9,72	14,1	12,22
6	13,7	20,72	08	8,64	11,3	11,6	08,9	8,74
7	12,1	15,39	11,3	9,6	09,4	10,4	06,3	9,36
8	15,3	20,06	07,6	10,92	10,4	12,04	11,4	8,25
9	13	13,78	07,8	6,9	09,7	15,84	10,3	12,24
10	11	17,4	09	5,6	09,8	7,6	07,3	5,78
Moyenne	13,78	17,02	10,51	11,09	10,05	12,66	09,02	9,09

L'analyse de la variance à un facteur (ANOVA), pour comparer le groupe de cultivars résistants (1 et 12) et à celui des cultivars sensibles (4 et 11) du point de vue morphologique, n'a révélé aucune différence significative pour les deux caractères hauteur des plants et surface foliaire ($P > 0,05$) (Tableau 7).

Tableau 7: Comparaison entre un groupe de cultivars résistants (CR) (1 et 12) et un groupe de cultivars très sensibles (CTS) (4 et 11) pour certains caractères morphologiques.

Caractère morphologique	Niveau de résistance	Moyenne $\pm$ erreur type	N	d.d.l.	F	P
Hauteur (cm)	CR	11,40 $\pm$ 0,78a	20	1 / 38	1,576	0,217
	CTS	10,28 $\pm$ 0,43a				
Surface foliaire (cm ²)	CR	13,06 $\pm$ 1,10a	20	1 / 38	0,725	0,400
	CTS	11,87 $\pm$ 0,83a				

Les moyennes suivies par lettres différentes sont significativement différentes. N : nombre de répétitions. d.d.l.: degrés de liberté ; $v_1 = 1$, $v_2 = 38$. F : facteur calculé. P : probabilité.

II.2.2 Discussion

Pour faire ressortir un lien possible entre la morphologie externe de la plante, qui peut intervenir comme une première barrière physique, et le développement des colonies du puceron noir de la fève, deux paramètres sont étudiés. Il s'agit de la hauteur des plants et la surface foliaire.

Les facteurs physiques et la phénologie, sont des caractéristiques des plantes qui peuvent influencer la préférence et la performance des insectes (Larsson, 2002). Dans leur étude, Koona *et al.* (2002), ont mis en évidence une corrélation entre la résistance de la luzerne à certains ravageurs des gousses et certains aspects morphologiques, en particulier, l'épaisseur de l'enveloppe, la longueur du pédoncule et la localisation de la graine au sein de cette gousse.

En ce qui concerne, la hauteur des plants, l'étude n'a révélé aucune différence significative entre les cultivars (Tableau 15). Par ailleurs, Shannag & Ababneh (2007), lors d'une étude sur la résistance de 6 variétés de fève à *A. fabae*, ils ont constaté que les plants les plus hauts caractérisent les variétés très sensibles.

Apparemment, la hauteur des plants est un caractère déterminant pour certains insectes et non pas pour d'autres. Tingey & Leigh (1974) cités par Smith (1989), ont montré que les cultivars de coton qui possèdent une hauteur élevée, sont les moins préférés par la punaise *Lygus hesperus*. Par ailleurs, Smith & Robinson (1983) cités par Smith (2005), ont noté que les cultivars de riz les plus infestés par *Ancyloxypha numitor*, se caractérisent par hauteur faible.

Cette étude a mis en évidence que même la surface foliaire n'a pas intervenu dans la résistance des cultivars, alors que, Tolmay *et al.* (1999) ont remarqué que les cultivars de blé sensibles aux pucerons, se distinguent par des feuilles étroites. Ses auteurs, ont supposé que lorsque la surface foliaire est importante, le cultivar émet plus de substances phago-dissuadantes, anti-appétentes et répulsives pour les pucerons.

II.2.3 Conclusion

La comparaison entre les cultivars résistants (1 et 12) et très sensibles (4 et 11) n'a montré aucune différence significative entre la hauteur des plants et la surface foliaire de la paire basale du second nœud florifère.

II.3 Etude des mécanismes de résistance

Sur la base des résultats obtenus lors du premier essai effectuée en plein champ, les cultivars classés comme résistants après 10, 20 et 30 jours de l'infestation artificielle, sont soumis à une série de tests sous serre et au laboratoire pour déterminer les mécanismes impliqués dans cette résistance. En plus des cultivars résistants (1, 12, 13 et 14), le cultivar 4, qui s'est montré très sensible, a été également introduit dans l'étude comme un témoin.

II.3.1 Mécanisme d'antixénose

II.3.1.1 Résultats

Les résultats de l'attractivité des 5 cultivars de fève testés à l'égard des adultes aptères d'*A. fabae* en pleine lumière, ont montré une différence significative ($F_{3,06} = 3,40$; $P = 0,036$) (Tableau 8). Le cultivar 4 (témoin sensible) s'est montré le plus attractif (6,75 individus / plant) comparativement aux autres cultivars résistants (Figure 14).

Les résultats de l'attractivité des adultes aptères d'*A. fabae* par les 5 cultivars en obscurité, ont montré également une différence significative ($F_{3,06} = 3,16$; $P = 0,045$) (Tableau 8). Les cultivars 1 et 12 n'ont attiré en moyenne que 1,5 individus aptères. Tandis que, le cultivar très sensible (témoin) a attiré une moyenne de 5,75 pucerons (Figure 14).

Tableau 8: Distribution des aptères *A. fabae* sur les différents cultivars.

Cultivars	Nombre d'adultes par plant (Moyenne $\pm$ erreur type)	
	Test en lumière	Test en obscurité
1	2,5 $\pm$ 1,25a	1,5 $\pm$ 0,64a
4	6,75 $\pm$ 2,13b	5,75 $\pm$ 0,94b
12	1,75 $\pm$ 0,85a	1,5 $\pm$ 0,28a
13	1,25 $\pm$ 0,62a	2,5 $\pm$ 0,28ab
14	2,0 $\pm$ 0,0a	5,0 $\pm$ 2,19ab
$F_{3,06}$	3,408	3,16
P	0,036*	0,045*
N	4	4
d.d.l.	4 / 15	4 / 15

Les moyennes suivies par lettres différentes dans les colonnes sont significativement différentes selon le test du Duncan à 5% (* $P < 0,05$). F: facteur calculé, P: probabilité, N: nombre de répétitions. d.d.l.: degrés de liberté, $v_1 = 4$, $v_2 = 15$.

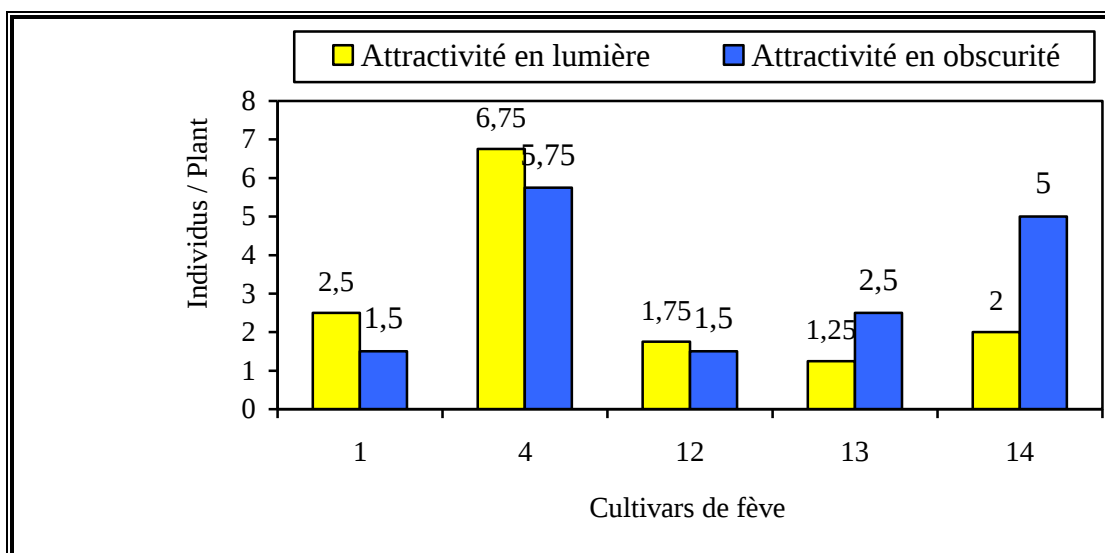


Figure 14: Distribution des aptères *A. fabae* sur les différents cultivars en position de lumière et d'obscurité.

II.3.1.2 Discussion

Plusieurs auteurs, entre autres, Tolmay *et al.* (1999); Lage *et al.* (2004); Castro *et al.* (2005); Hesler & Tharp (2005); Hesler *et al.* (2007); Laamari *et al.* (2008), ont étudié la résistance des plantes aux insectes à travers le mécanisme d'antixénose (non préférence).

Smith (2005) a défini le mécanisme d'antixénose comme étant l'influence des facteurs morphologiques et/ou chimiques de la plante sur le comportement de recherche d'un hôte par un arthropode. Parmi les facteurs morphologiques, il y a l'épaisseur de la couche épidermique, les dépôts cireux sur les feuilles, les tiges ou les fruits et la présence des trichomes (poils).

Bernays & Chapman (1994) ont constaté que l'attractivité des insectes par les plantes hôtes est déterminée soit par l'odorat soit par la vision ou tous les deux à la fois.

Les résultats du test en lumière (Tableau 8) ont montré que tous les cultivars de fève testés ont présenté une certaine attractivité aux adultes d'*A. fabae* mais une préférence particulière a été exprimée à l'égard du cultivar le plus sensible (4). En obscurité, le cultivar sensible (témoin) reste toujours le plus attractif comparativement

aux autres cultivars. Les cultivars résistants, 1 et 12, sont les moins préférés par les pucerons (Tableau 8).

S'il est tenu compte des tests réalisés en lumière et en obscurité, il est remarqué que le témoin sensible (cultivar 4) reste le plus attractif (Figure 14). Apparemment, il fait intervenir à la fois sa silhouette (forme) et ses substances émises pour attirer les pucerons à distance. Il se peut également qu'il contient des substances phagostimulantes et une bonne qualité nutritionnelle pour le puceron noir *A. fabae*. Visser *et al.* (1996) ont mentionné que les aphides ont une capacité de reconnaître à distance une vaste variété de substances volatiles des plantes par l'utilisation des récepteurs olfactifs logés dans les antennes.

Les cultivars 1 et 12 restent les moins préférés. Plusieurs facteurs entrent dans la sélection de la plante hôte. Bernays et Chapman (1994) ont indiqué que le puceron *A. fabae* préfère les feuilles de couleur jaune. Les couches cireuses du feuillage et de tiges des plantes sont des mélanges complexes d'acides gras, d'esters, d'alkanes et qui contiennent aussi des quantités variables de plusieurs métabolites secondaires. Le stade phénologique est en relation directe avec l'aspect externe et la composition de la cire (Bernays & Chapman, 1994). L'analyse chimique des lipides épicuticulaires a démontré l'existence d'un complexe de substances qui couvre le feuillage de la fève (Powell *et al.*, 1999).

Dans cette étude, le puceron noir était plus attiré par le cultivar 4 comparativement aux cultivars 1 et 12. Il se peut également que ces cultivars soient dotés d'un pouvoir d'émission de substances volatiles répulsives ou phago-dissuadantes. D'après Strebler (1989), la sinigrine est l'une des substances les plus répulsives et anti-phago-stimulantes produites par les plantes pour dissuader les insectes phytophages. De leur part, Webster *et al.* (2008) ont étudié les réponses comportementales et électro-physiologiques des ailés d'*A. fabae* aux volatils de la fève (var. Sutton dwarf). Ces auteurs ont rendu compte que 15 substances chémiochimiques sont impliquées dans la localisation de l'hôte par le puceron.

Chez la fève, l'épiderme est glabre mais il est protégé par une couche de cire. Cette dernière, peut être à l'origine de la résistance des cultivars 1 et 12, mais chez le cultivar très sensible 4, cette barrière naturelle est incapable d'empêcher ou de gêner la pénétration des stylets de ce puceron. Par ailleurs, la composition biochimique de cette couche de cire en substances attractives ou répulsives est également déterminante.

Dans d'autres cas, la reconnaissance des plantes hôtes favorables, ne peut se faire qu'après l'installation du puceron et après les premières piqûres d'essai. C'est ce contact direct, qui déclenche chez la plante des modifications, qui interviennent pour élever ou réduire son niveau résistance au bio-agresseur (Cuartero *et al.*, 1999).

Powell *et al.* (1999) a noté que l'étape de la pénétration des stylets des pucerons dépend de l'estimation sensorielle d'un certain nombre de propriétés, entre autres, la couleur, la structure et les matières phyto-chimiques volatiles et non volatiles. Chez les pucerons, la piqûre d'essai est une étape primordiale dans le processus d'acceptation ou de refus de la plante testée (Prado & Tjallingii, 1997). Miles (1999), de sa part, a démontré que les premières piqûres d'essai des pucerons peuvent déclencher chez les plantes une certaine résistance. Pendant cette phase, les pucerons sécrètent brusquement une salive gaine et une salive digestive mouillée. La salive gaine est composée essentiellement de protéines, de phospholipides et de carbohydrates conjugués (Miles, 1999). La salive digestive mouillée est un mélange compliqué d'enzymes et d'autres éléments, qui peuvent provoquer des signaux de protection de la plante (Miles, 1999). Quelques composants volatils émis après l'installation de l'insecte, agissent comme des répulsifs ou des attractifs pour les ennemis naturels des insectes phytophages (Kessler & Baldwin, 2001).

II.3.1.3 Conclusion

Les cultivars 1 et 12 sont les plus répulsifs soit en situation de lumière ou d'obscurité. Le témoin sensible 4 s'est montré le plus attractif en présence ou en absence de lumière. Apparemment, il fait intervenir à la fois son aspect morphométrique et ses émissions volatiles pour attirer les adultes aptères d'*A. fabae*.

II.3.2 Mécanisme d'antibiose

Dans cette partie, l'effet de la résistance antibiotique de 5 cultivars (quatre résistants et un sensible) de fève sur les paramètres biotiques et démographiques du puceron noir de la fève, a été présenté.

II.3.2.1 Résultat

L'analyse statistique a montré une différence significative entre la taille (longueur x largeur) des adultes aptères d'*A. fabae* élevés sur les 5 cultivars de fève ($F_{3,36} = 3,391$; $P = 0,049$) (Tableau 9). Elle varie entre $2,54 \text{ mm}^2$ (cultivar 12) et $3,08 \text{ mm}^2$ (cultivar 1) (Tableau 9).

Tableau 9: Taille des adultes d'*A. fabae* (mm^2) sur les 5 cultivars de fève.

Cultivar	Moyenne $\pm$ erreur type
1	$3,08 \pm 0,061b$
4	$2,76 \pm 0,14ab$
12	$2,54 \pm 0,15a$
13	$2,87 \pm 0,065ab$
14	$2,82 \pm 0,060ab$
F	3,391
P	0,049*
d.d.l.	4 / 11

Les moyennes suivies par lettres différentes sont significativement différentes au seuil de signification 5% selon le test de Duncan à 5% (ANOVA; $*P < 0,05$). F : facteur calculé, P : probabilité, d.d.l.: degrés de liberté, $v_1 = 4$, $v_2 = 11$.

L'analyse de la variance a montré également une différence significative entre le poids des adultes aptères du puceron noir de la fève ($F_{3,18} = 3,260$; $P = 0,047$) élevés sur les différents cultivars (Tableau 10). Les pucerons élevés sur le cultivar 13 ont présenté le poids le plus important (1,18 mg), alors que, ceux élevés sur le cultivar 12, sont les plus légers (0,87 mg) (Tableau 10).

Tableau 10: Poids de l'adulte *A. fabae* (mg) sur les 5 cultivars de fève.

Cultivar	Moyenne $\pm$ erreur type
1	1,00 $\pm$ 0,11ab
4	1,07 $\pm$ 0,08ab
12	0,87 $\pm$ 0,02a
13	1,18 $\pm$ 0,05b
14	1,10 $\pm$ 0,05ab
F	3,260
P	0,047*
d.d.l.	4 / 13

Les moyennes suivies par lettres différentes sont significativement différentes au seuil de signification 5% selon le test de Duncan à 5% (ANOVA; *P < 0,05). F : facteur calculé, P : probabilité, d.d.l.: degrés de liberté, $v_1 = 4$, $v_2 = 13$.

L'action antibiotique des différents cultivars a affecté également le potentiel biotique des femelles du puceron noir de la fève. Le nombre total d'embryons compté dans le corps des femelles après dissection était significativement différent ($F_{3,48} = 5,513$; $P = 0,013$) (Tableau 11). Il est noté que les femelles élevées sur le cultivar 12 sont les moins fertiles (20,33 embryons) comparativement à celles qui se trouvent sur les autres cultivars (Figure 15).

Par ailleurs, l'étude statistique n'a montré aucune différence significative entre le nombre d'embryons développés chez les femelles élevées sur les 5 cultivars de fève ($F_{3,48} = 2,474$; $P = 0,112$) (Tableau 11). Ce nombre est compris entre 11 et 14,67 embryons développés (Figure 15).

Tableau 11: Nombre d'embryons produits par les adultes élevés sur les différents cultivars.

Cultivar	Embryons totaux	Embryons développés
1	29,00±2,65b	14,00±0,58a
4	29,33±1,76b	14,67±0,33a
12	20,33±1,20a	11,00±1,15a
13	28,00±1,00b	13,67±0,88a
14	24,33±0,88ab	12,33±1,33a
F _{3,48}	5,513	2,474
P	0,013*	0,112
d.d.l.	4 / 10	4 / 10
N	3	3

Les moyennes suivies par lettres différentes dans les colonnes sont significativement différentes au seuil de signification 5% selon le test de Duncan à 5% (ANOVA). F: facteur calculé, P: probabilité, d.d.l.: degrés de liberté, $v_1 = 4$, $v_2 = 10$. N: nombre de répétitions. *P < 0,05.

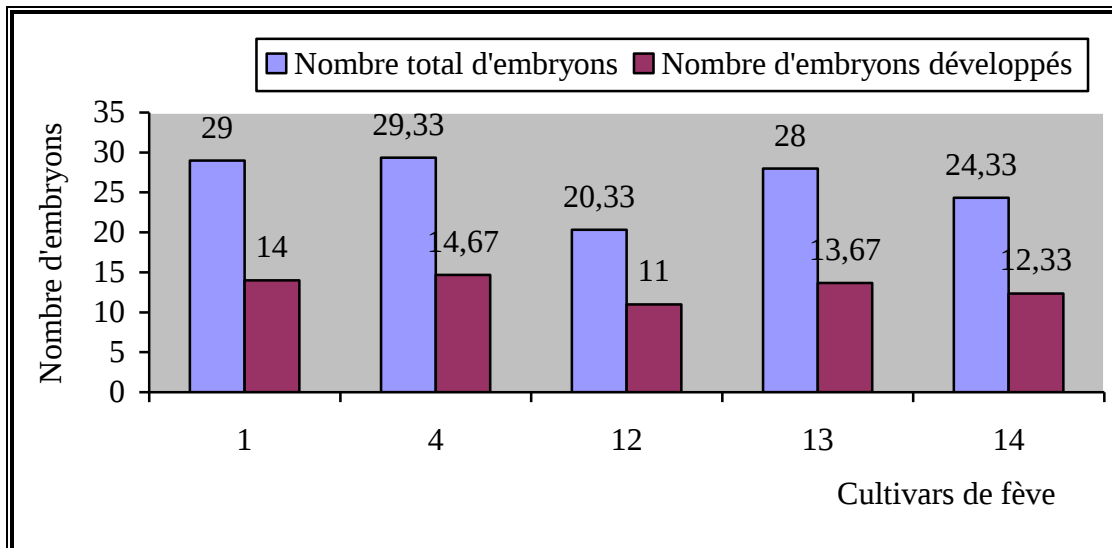


Figure 15: Nombre d'embryons produits par les femelles élevées sur les différents cultivars de fève.

Un modèle de corrélation partielle a été adopté pour faire ressortir la nature de la liaison entre chaque couple de paramètres biotiques des femelles: poids - taille, poids - nombre total d'embryons, poids - nombre d'embryons développés, poids - fécondité totale, taille - nombre total d'embryons, taille - nombre d'embryons développés, taille - fécondité totale, nombre total d'embryons - fécondité totale, nombre total d'embryons - nombre d'embryons développés, nombre d'embryons développés - fécondité totale.

Les résultats de ces relations sont présentés sur le tableau 12.

Parmi l'ensemble des couples de paramètres étudiés, l'analyse a montré une corrélation entre le poids de la femelle et le nombre total d'embryons, entre le nombre total d'embryons et le nombre d'embryons développés. Il s'agit des corrélations positives mais elles sont jugées moyennes ($r \approx 0,5$) (Tableau 12).

Tableau 12: Coefficients de corrélation (r) entre quelques paramètres biotiques des femelles d'*Aphis fabae* élevés sur les 5 cultivars de fève.

Paramètres	Poids	Taille	Nombre total d'embryons	Embryons développés	Fécondité totale
Poids	1	-	-	-	-
Taille	0,229 (P=0,431)	1	-	-	-
Nombre total d'embryons	0,516 (P=0,059)	0,323 (P=0,260)	1	-	-
Embryons développés	0,070 (P=0,810)	0,341 (P=,232)	0,568 (P=0,03*)	1	-
Fécondité totale	0,387 (P=0,171)	-0,114 (P=0,698)	0,229 (P=0,430)	0,065 (P=0,823)	1

Les valeurs de (r) sont significatives à *P < 0,05.

L'analyse concernant les autres paramètres biotiques étudiés, à s'avoir, la durée de développement larvaire, la période pré-reproductive, la période reproductive, la vie imaginale, la durée de vie totale et la fécondité journalière moyenne des individus d'*A. fabae* élevés sur les 5 cultivars de fève, n'a montré aucune différence significative (P > 0,05) (Tableau 13).

Par contre, l'analyse statistique concernant la fécondité totale moyenne des femelles (Figure 16), a montré une différence significative ($F_{3,18} = 3,429$; P = 0,040) (Tableau 13). Chez les femelles élevées sur le cultivar sensible 4 (témoin), la fécondité totale moyenne était maximale (89 larves), alors que, sur le cultivar 14, elle n'a pas dépassée 22,66 larves (Figure 16).

Tableau 13: Paramètres biologiques d'*Aphis fabae* sur les 5 cultivars de fève (Moyenne $\pm$ SE)

Paramètres biologiques	Cultivars					F _{3,18}	P
	1 (n = 4)	4 (n = 3)	12 (n = 3)	13 (n = 5)	14 (n = 3)		
Développement larvaire (jours)	11,5 $\pm$ 0,64a	11,0 $\pm$ 0,57a	10,33 $\pm$ 0,33a	10,4 $\pm$ 0,6a	9,0 $\pm$ 1,0a	1,812	0,187
Période Pré-reproductive (jours)	13,25 $\pm$ 0,75a	12,66 $\pm$ 0,33a	13,66 $\pm$ 0,33a	12,4 $\pm$ 0,74a	12,33 $\pm$ 1,2a	0,529	0,717
Période reproductive (jours)	16,0 $\pm$ 2,58a	22,0 $\pm$ 2,08a	16,0 $\pm$ 5,13a	15,0 $\pm$ 3,0a	7,33 $\pm$ 4,84a	1,829	0,184
Vie imaginale (jours)	19,0 $\pm$ 3,71a	23,66 $\pm$ 1,45a	19,33 $\pm$ 4,91a	18,0 $\pm$ 3,36a	11,0 $\pm$ 4,5a	1,219	0,350
Survie (jours)	30,5 $\pm$ 3,17a	35,0 $\pm$ 1,73a	29,66 $\pm$ 4,8a	28,4 $\pm$ 3,07a	20,0 $\pm$ 3,51a	2,177	0,129
Fécondité journalière (nymphe/femelle/jour)	3,57 $\pm$ 0,31a	4,05 $\pm$ 0,15a	3,76 $\pm$ 0,53a	3,95 $\pm$ 0,27a	3,49 $\pm$ 0,58a	0,390	0,812
Fécondité totale (nymphe/femelle)	57,0 $\pm$ 11,18ab	89,0 $\pm$ 7,02b	54,66 $\pm$ 8,76ab	59,0 $\pm$ 12,33ab	22,66 $\pm$ 12,87a	3,429	0,040*

Les moyennes suivies par lettres différentes dans les lignes sont significativement différentes au seuil de signification 5% selon le test de Duncan (ANOVA). n: nombre de répétitions. F: facteur calculé, P: probabilité (*P < 0,05).

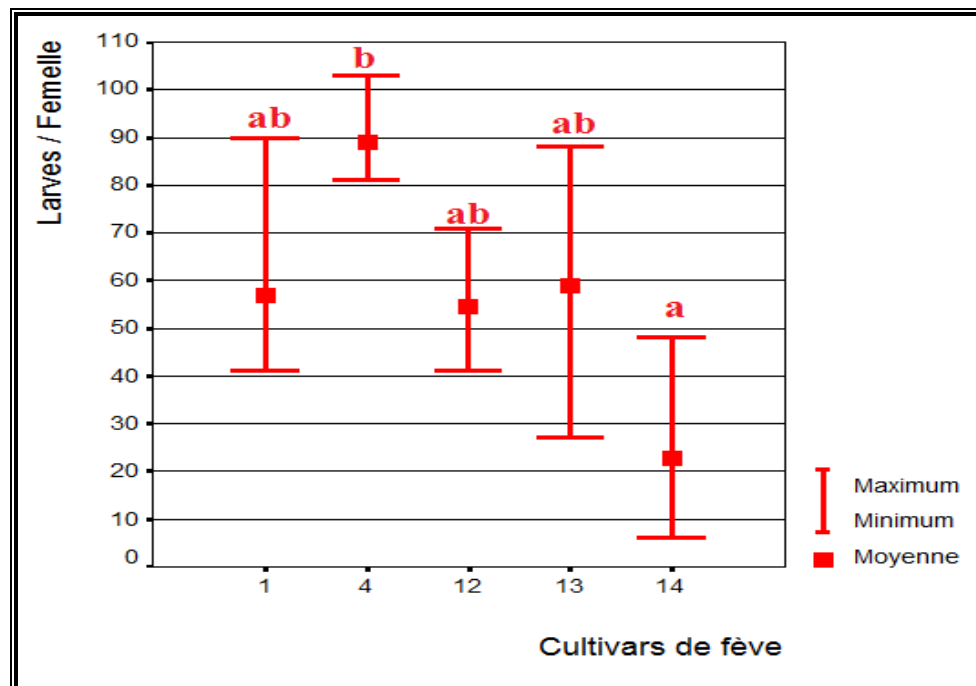


Figure 16: Fécondité totale moyenne des femelles d'*Aphis fabae* sur les 5 cultivars de fève.

Les résultats représentés sur le tableau 14 montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les paramètres démographiques des individus d'*A. fabae* élevés les 5 cultivars de fève (P > 0,05).

Tableau 14: Paramètres démographiques des individus d'*Aphis fabae* élevés sur les 5 cultivars de fève (Moyennes $\pm$ erreur type).

Cultivars	Lx (%)	r_m	R_0	T	DT	TM
1	76,19	0,217 $\pm$ 0,012a	37,29 $\pm$ 6,91a	16,63 $\pm$ 1,11a	3,22 $\pm$ 0,20a	1,87 $\pm$ 0,29a
4	95,35	0,231 $\pm$ 0,020a	65,70 $\pm$ 6,14a	17,24 $\pm$ 1,98a	3,06 $\pm$ 0,27a	2,16 $\pm$ 0,54a
12	75	0,228 $\pm$ 0,007a	45,74 $\pm$ 11,14a	16,55 $\pm$ 0,91a	3,05 $\pm$ 0,10a	2,66 $\pm$ 0,81a
13	73,17	0,221 $\pm$ 0,002a	56,80 $\pm$ 16,88a	18,90 $\pm$ 0,29a	3,14 $\pm$ 0,03a	2,52 $\pm$ 0,09a
14	88,64	0,236 $\pm$ 0,005a	46,90 $\pm$ 21,31a	15,15 $\pm$ 2,53a	2,94 $\pm$ 0,06a	1,78 $\pm$ 0,52
F	-	0,440	0,633	0,736	0,427	0,577
P	-	0,777	0,650	0,588	0,786	0,686
d.d.l.	-	4 / 10	4 / 10	4 / 10	4 / 10	4 / 10
N	-	3	3	3	3	3

Les moyennes suivies par lettres différentes dans les colonnes sont significativement différentes selon le test du Duncan à 5%. P: probabilité. F: facteur calculé. d.d.l.: degrés de liberté; $v_1 = 4$, $v_2 = 10$. N: nombre de répétitions. L_x : le pourcentage des larves qui sont arrivées au stade adulte. r_m : taux d'accroissement naturel. R_0 : taux reproductif net (larves). T : temps de génération (jours). DT: temps de doublement. TM : taux de multiplication (Larves / Jour).

II.3.2.3 Discussion

Smith (2005) a défini le mécanisme d'antibiose comme étant l'effet négatif des facteurs morphologiques et/ou chimiques de la plante résistante sur la biologie de l'arthropode. Parmi ces effets négatifs, il y a lieu de citer, la réduction de la taille, du poids, de la fécondité, de la durée de vie reproductive et le prolongement de la durée du développement larvaire.

Pour évaluer cet effet négatif des végétaux sur le pouvoir biotique et démographique des ravageurs, plusieurs paramètres peuvent être retenus, entre autres, la taille (Taylor, 1975), le poids (Tolmay *et al.*, 1999), la fécondité potentielle (Traicevski & Ward 2002), la durée du développement larvaire (Kordan *et al.*, 2008), la longévité de l'adulte (Faccoli, 2007), la survie (Castro *et al.*, 2001), la fécondité journalière (Jiménez-Pérez & Wang, 2004), la fécondité totale (Barre *et al.*, 2002), le taux d'accroissement naturel (Laamari *et al.*, 2008), le taux reproductif net (Marohasy, 1997), le temps de doublement (Sauge *et al.*, 1998), le temps de génération (Kersting *et al.*, 1999) et le taux de multiplication (Quénéhervé *et al.*, 2009).

Il existe généralement deux types de facteurs responsables de la résistance antibiotiques. Ils peuvent être chimiques comme les toxines (alcaloïdes, cétones et acides organiques), les inhibiteurs de croissance (quercétine, acide oxalique et terpènes) ou morphologiques (trichomes et lipides épicuticulaires) (Smith, 2005).

Berryman (1988) a constaté que les facteurs de défense des plantes contre les bio-agresseurs peuvent être constitutifs ou induits. Cependant, Norris (1986) a mentionné que le pouvoir antibiotique des plantes est fréquemment lié à la qualité et la quantité des éléments nutritifs et allélochimiques des tissus de la plante hôte. Le même auteur a signalé que la convenabilité ou la non convenabilité, dépendent plutôt des métabolites primaires, qui sont indispensables pour le développement et la reproduction normales de l'insecte.

Tolmay *et al.* (1999) ont noté que la réduction de la taille de l'insecte est un bon paramètre d'antibiose. Les résultats de cette étude ont montré que la taille la plus importante des femelles d'*A. fabae*, est enregistrée sur le cultivar 1 (3,08 mm²) et la plus faible sur le cultivar 12 (2,54 mm²) (Tableau 9).

D'après Chambers (1979) cité par Leather & Wellings (1981), la taille des pucerons adultes dépend de certains facteurs, entre autre, la richesse de la sève en acides aminés. Une étude sur la richesse du phloème en acides aminés, a montré que le développement des pucerons est corrélé positivement avec les valeurs les plus hautes en asparagine et glutamine (Bernays & Chapman, 1994). Par ailleurs, Smith (2005) a mis en évidence, que le développement des insectes peut être ralenti par la présence d'inhibiteurs de croissance. C'est le cas de l'éthyle acétate présent dans les feuilles de certains cultivars de la luzerne (Annan *et al.*, 1996).

En ce qui concerne la fertilité, il est remarqué que le nombre d'embryons chez les femelles élevées sur le cultivar 4 (témoin sensible), était presque 1,5 fois plus important que celui obtenu sur le cultivar 12 (résistant) (Tableau 11).

Il est constaté également, qu'il y a des corrélations peu importantes mais positives, entre le poids des femelles et le nombre total d'embryons et entre le nombre total d'embryons et le nombre d'embryons développés ($r = 0,51$; $r = 0,53$ respectivement) (Tableau 12). Par ailleurs, le nombre total d'embryons compté chez femelles élevées sur le cultivar 4 (29,33 embryons) était plus important comparativement aux femelles qui se trouvent sur le cultivar 12 (20,33 embryons) (Figure 15).

Ces différences dans le potentiel biotique des individus d'*A. fabae* élevés sur les 5 cultivars, peuvent être attribuées à une différence dans la valeur nutritionnelle ou à la présence de substances qui affectent la fécondité.

D'après Dixon (1987), chez les pucerons, la larviposition est étroitement liée à la qualité de l'alimentation lors de la période pré-imaginale. Les composés phénoliques et leurs dérivées, comme les quinones, les tannins et les lignines, sont largement impliquées dans la résistance des plantes aux ravageurs (Strebler, 1989). Le même auteur a constaté qu'en plus de leurs conséquences sur le comportement et la spécificité des relations plantes-insectes, ces matières agissent habituellement sur la digestion et le métabolisme des insectes.

Dans cette étude, les cultivars testés n'ont présenté également aucune différence concernant leur action sur les paramètres démographiques des aphides, à savoir, le taux d'accroissement naturel, le taux reproductif net, le temps de doublement, le temps de génération et le taux de multiplication du puceron noir.

II.3.2.3 Conclusion

L'effet antibiotique des 5 cultivars de fève, a affecté la taille des femelles du puceron noir. Les résultats obtenus ont également mis en évidence que les femelles d'*A. fabae* sur le cultivar 1 étaient plus vigoureuses ($3,08 \text{ mm}^2$), comparativement à celles qui se trouvent sur le cultivar 12 ($2,54 \text{ mm}^2$).

L'analyse statistique a montré une différence significative entre le poids des adultes élevés sur les 5 cultivars. Les femelles élevées sur le cultivar 13 ont présenté le poids le plus important (1,18 mg), comparativement au cultivar 12 (0,87 mg).

Par ailleurs, il est remarqué que le nombre total d'embryons obtenus sur le cultivar 4 était presque 1,5 fois plus important que celui compté sur le cultivar 12.

Les différences concernant le développement larvaire, la période pré reproductive, la période reproductive, la vie imaginale, la durée de vie totale et la fécondité journalière moyenne des femelles d'*A. fabae* élevées sur les 5 cultivars de fève, ne sont pas significatives. Par contre, la fécondité totale moyenne a montré une différence significative entre les femelles élevées sur les 5 cultivars de fève. Sur le cultivar sensible (4), il est obtenu la fécondité totale moyenne la plus élevée (89 larves).

II.3.3 Mécanisme de tolérance

Pour évaluer ce mécanisme de résistance, la différence de hauteur entre des plants infestés par le puceron noir et des plants non infestés de chaque cultivar, a été prise en considération.

II.3.3.1 Résultats

La différence de hauteur entre les plants infestés et non infestés des 5 cultivars testés n'est pas significative ($F_{3,01} = 0,495$; $P > 0,05$) (Tableau 15), malgré la grande différence visuelle entre les deux types de plants (infestés et témoins) (Figures 17 et 18).

Tableau 15: Différence de la hauteur entre les plants infestés et non infestés des 5 cultivars de fève (moyenne $\pm$ erreur type).

Cultivar	Perte de la hauteur (%)
1	30,70 $\pm$ 08,32a
4	29,10 $\pm$ 15,24a
12	23,73 $\pm$ 07,54a
13	18,81 $\pm$ 06,24a
14	43,41 $\pm$ 19,12a
P	0,740
F _{3,01}	0,495
d.d.l.	4 / 16

Les moyennes suivies par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (ANOVA : $P > 0,05$). P: probabilité. F: facteur calculé. d.d.l.: degrés de liberté; $v_1 = 4$, $v_2 = 16$.

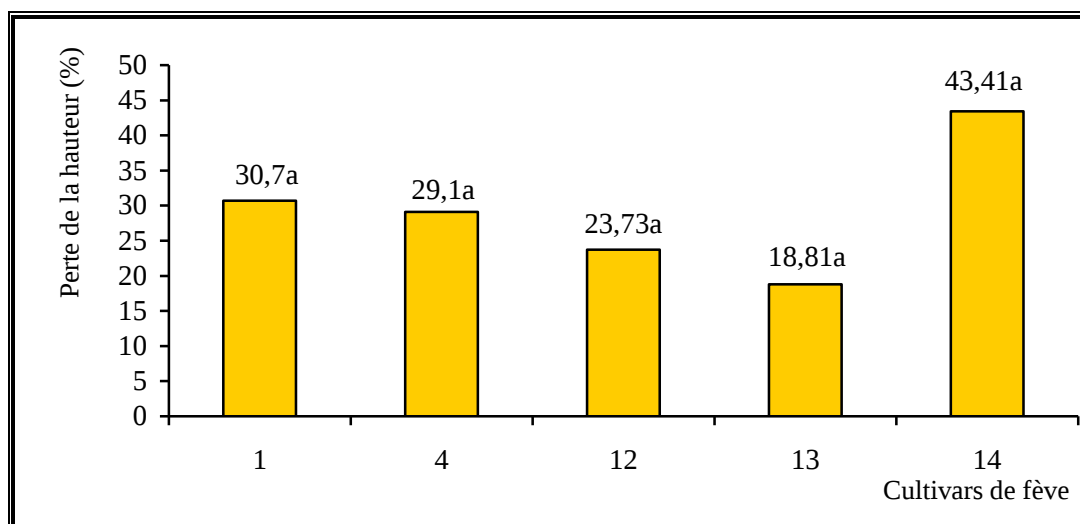


Figure 17: Différence de hauteur (%) entre les plants infestés et non infestés des 5 cultivars de fève.

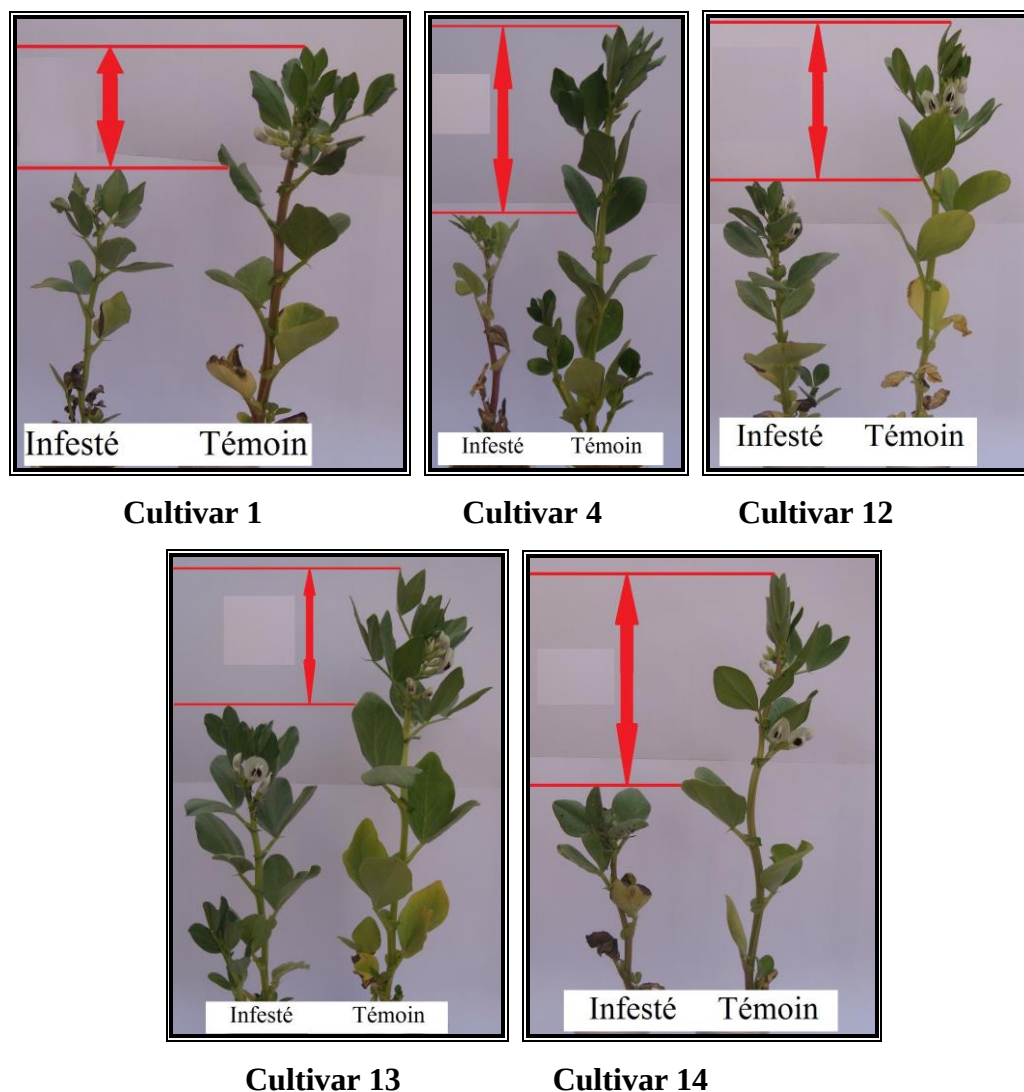


Figure 18: Différence de hauteur entre les plants infestés et non infestés des 5 cultivars de fève après 10 jours de l'infestation.

II.3.3.2 Discussion

D'après Smith (2005), le cultivar le plus tolérant est celui qui présente la perte 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.

La différence de hauteur entre les plants infestés et non infestés des cultivars 13 et 12 est très faible en comparaison avec les autres cultivars. Ces deux cultivars semblent être les plus tolérants à *A. fabae*. Chez le cultivar 14, les plants non infestés

sont presque 2 fois plus longs que les plants non infestés (Figure 34 et 35).

Il existe en réalité 5 facteurs essentiels qui déterminent la tolérance des plantes aux bio-agresseurs. Il s'agit du pouvoir photosynthétique, du taux de développement relatif, des niveaux préexistants du carbone stocké dans les racines et de l'aptitude de déplacer le carbone stocké à partir de racines vers les pousses (Strauss & Agrawal, 1999).

Smith (2005) a signalé que les études sur les mécanismes de tolérance proprement dits sont limitées. Néanmoins, quelques études ont montré l'implication directe de la photosynthèse, les hormones végétales et les structures physiques des plantes dans l'expression de la tolérance. Haile *et al.* (1999) ont mentionné que les piqûres du puceron russe *Diuraphis noxia* peuvent déduire des diminutions importantes dans la chlorophylle totale, les caroténoïdes, et la chlorophylle A et B, et par conséquent dans la production de la biomasse. Ainsi, Nagaraj *et al.* (2002), ont indiqué que les individus du puceron des céréales *Schisaphis graminum* installés sur le sorgho pendant 1 à 4 jours, ont pu réduire significativement le contenu de la chlorophylle et le taux de la photosynthèse.

Par ailleurs, des travaux ont mis en évidence l'implication des mécanismes d'assemblages des auxines aux protéines ou aux enzymes (Maxwell & Painter, 1962 cités par Smith, 2005) et de l'acide abscissique (Gawronska & Kielkiewiez, 1999) dans la tolérance des plantes aux ravageurs.

II.3.3.3 Conclusion

Les résultats obtenus concernant la tolérance, ont montré que les valeurs moyennes de la perte en hauteur entre les plants infestés et non infestés pour les 5 cultivars testés, ne sont pas significativement différentes, malgré la grande différence visuelle entre les deux types de plants (infestés et témoins).

II.4 Teneur en polyphénols et en flavonoïdes

Dans cette partie de l'étude, des analyses biochimiques sont effectuées afin de déterminer la différence dans les teneurs en polyphénols et en flavonoïdes, entre les cultivars de fève résistants (1, 12, 13 et 14) et le cultivar sensible (4).

II.4.1 Résultats

L'analyse statistique n'a montré aucune différence significative dans la teneur en polyphénols totaux entre les 5 cultivars de fève ($P > 0,05$; $F_{3,48} = 0,531$) (Tableau 16).

Tableau 16: Teneur en polyphénols totaux des 5 cultivars de fève étudiés (Moyenne $\pm$ SE).

Cultivars	Polyphénols totaux (mg / g de feuilles sèches)
	(n = 3)
1	10,63 $\pm$ 0,06a
4	10,70 $\pm$ 0,03a
12	10,82 $\pm$ 0,05a
13	10,78 $\pm$ 0,23a
14	10,59 $\pm$ 0,16a
$F_{3,48}$	0,531
P	0,716
d.d.l.	4 / 10

Les moyennes suivies par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (ANOVA : $P > 0,05$). n: nombre de répétitions. P: probabilité. d.d.l.: degrés de liberté; $v_1 = 4$, $v_2 = 10$.

Par contre, une différence significative est enregistrée dans la teneur en flavonoïdes totaux ($P < 0,01$; $F_{3,48} = 6,779$) (Tableau 17). Le cultivar 12 s'est montré le pauvre en flavonoïdes (43,15 μ g /g de feuilles sèches) comparativement aux autres cultivars (Tableau 25).

Tableau 17: Teneur en flavonoïdes totaux des 5 cultivars de fève (Moyenne $\pm$ SE).

Cultivars	Flavonoïdes totaux (μg / g feuilles sèches)
	(n = 3)
1	73,41 $\pm$ 3,15b
4	69,44 $\pm$ 1,17b
12	43,15 $\pm$ 5,52a
13	69,53 $\pm$ 0,90b
14	62,31 $\pm$ 8,08b
F _{3,48}	6,779
P	0,007*
d.d.l.	4 / 10

Les moyennes suivies par des lettres différentes sont significativement différentes selon le test du Duncan à 5%. n: nombre de répétitions. F: facteur calculé. P: probabilité, * P < 0,01. d.d.l.: degrés de liberté; $v_1 = 4$, $v_2 = 10$.

II.4.2 Discussion

Les métabolites secondaires des plantes, sont des bases biochimiques importantes dans la résistance des plantes contre les insectes (Cai *et al.*, 2004). Dans cette étude, il est noté que la teneur en polyphénols totaux est la même dans les 5 cultivars testés, ce qui explique probablement la différence non significative entre les valeurs moyenne des paramètres, développement larvaire, période pré-reproductive, période reproductive, longévité de l'adulte, la fécondité journalière et tous les autres paramètres démographiques d'*A. fabae* (Tableau 16).

L'analyse chimique a démontré que le cultivar résistant 12, possède le niveau le plus bas en flavonoïdes totaux (43,15 μg / g de matière sèche) (Tableau 17). Dans une étude, Golawska *et al.* (2008) ont confirmé que les cultivars de la luzerne résistants à *Acysthosiphon pisum*, se distinguent par des teneurs élevées en saponines et faibles en flavonoïdes. Par ailleurs, Kordan *et al.* (2008) ont noté que le cultivar de *Lupinus luteus* résistant à *A. pisum*, contient une concentration élevée en lupanine (0,59 μg /g de matière sèche) comparativement au cultivar sensible (0,51 μg /g de matière sèche).

II.4.3 Conclusion

Les analyses chimiques effectuées lors de cette étude ont permis de constater que les cultivars (1, 4, 12, 13 et 14) ont les mêmes quantités de polyphénols totaux. Par contre, le cultivar résistant 12, s'est distingué par une teneur faible en flavonoïdes totaux comparativement au cultivar très sensible 4.

II.5 Action répulsive des extraits aqueux et méthanolique

Cette action a été évaluée après le traitement des feuilles du cultivar sensible (4) par des extraits aqueux et méthanolique du cultivar le plus résistant (12). Ce cultivar résistant a été choisi sur la base de ses effets négatifs sur les performances d'*A. fabae* durant l'ensemble des tests. Par ailleurs, ce cultivar s'est montré le plus pauvre en flavonoïdes totaux comparativement aux autres cultivars résistants (1, 13, 14).

II.5.1 Résultats

Dans le premier test effectué en pleine lumière, les résultats ont montré une différence significative dans l'effet répulsif des feuilles traitées différemment sur le puceron noir ($P < 0,01$; $F_{5,49} = 7,226$) (Tableau 18). Parmi les 12 individus adultes d'*A. fabae* utilisés dans chaque répétition, en moyenne 3,7 individus ont choisis de s'installer sur les feuilles traitées avec l'extrait méthanolique. Ce nombre était de 0,8 individus sur les feuilles traitées avec l'extrait aqueux et 1,3 individu sur le témoin traité avec l'eau distillée (Figure 19). Dans le second test effectué en obscurité, l'analyse statistique n'a montré aucune différence significative ($P > 0,05$; $F_{3,88} = 2,667$) (Tableau 18). Toutes les feuilles traitées étaient pas ou peu attractives aux pucerons (entre 0 et 0,4 individus / feuille en moyenne) (Figure 19).

Tableau 18: Effet des extraits méthanoliques et aqueux des feuilles du cultivar 12 sur le comportement des adultes d'*Aphis fabae* (Moyenne $\pm$ SE).

Type de traitement	Nombre des adultes d' <i>Aphis fabae</i>	
	Test en lumière (n = 10)	Test en obscurité (n = 10)
Témoin	0,8 $\pm$ 0,36a	0,40 $\pm$ 0,24a
Extrait aqueux	1,3 $\pm$ 0,62a	0,00 $\pm$ 0,00a
Extrait méthanolique	3,7 $\pm$ 0,70b	0,00 $\pm$ 0,00a
F	7,226	2,667
P	0,003*	0,110
d.d.l.	2 / 27	2 / 12

Les moyennes suivies par des lettres différentes sont significativement différentes selon le test du Duncan à 5%. n: nombre de répétitions. F: facteur calculé, P: probabilité, *P < 0,01. d.d.l.: degrés de liberté; $v_1 = 2$, $v_2 = 27$ ou 12.

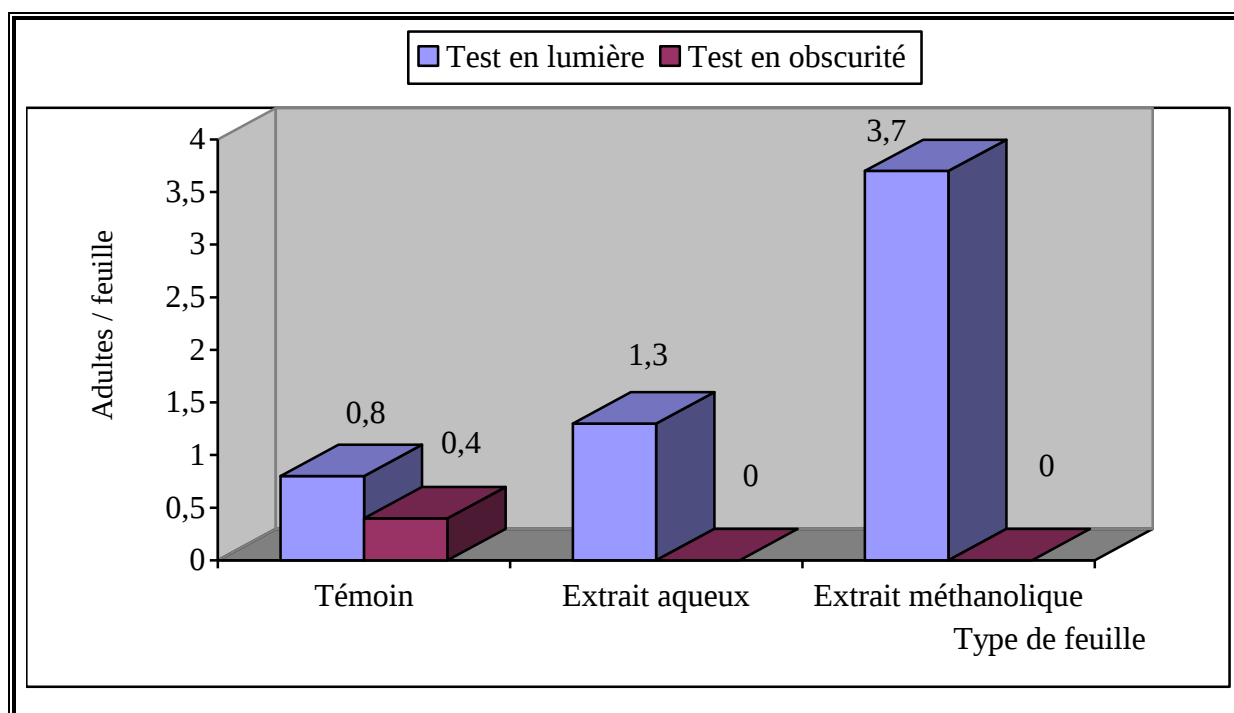


Figure 19: Attractivité des adultes aptères d'*A. fabae* par les feuilles du cultivar sensible (4) traitées par les extraits aqueux et méthanoliques du cultivar résistant (12).

II.5.2 Discussion

Cette étude a montré que les feuilles du cultivar sensible (4), placées en pleine lumière et traitées par l'extrait méthanolique du cultivar résistant (12), sont les plus attractives aux adultes d'*A. fabae* comparativement à celles traitées avec l'eau distillée

ou l'extrait aqueux. En obscurité, les feuilles traitées avec les extraits méthanoliques ou aqueux, n'ont attiré aucun individu (Figure 19).

Dans cette étude, il est retenu surtout l'action répulsive des feuilles traitées avec l'extrait aqueux du cultivar résistant 12 en lumière et en obscurité. Il est probable que cet extrait a dégagé une odeur qui laisse les adultes d'*A. fabae* à l'écart.

En ce qui concerne les feuilles traitées avec l'extrait méthanolique, il est constaté que l'attractivité est élevée en test de lumière (3,7 adultes / feuille) et nulle en obscurité (Figure 19). Il se peut donc qu'en contact avec les rayons solaires, ce composé change de structure. Il se peut également qu'en présence de la lumière, il agit sur l'aspect externe des feuilles (couleur) ou il s'interfère avec les métabolites des feuilles pour donner un composé plus attractif aux pucerons.

En obscurité, les pucerons exploitent uniquement leur pouvoir olfactif pour s'orienter, tandis qu'en pleine lumière, ils utilisent également leurs organes visuels.

Plusieurs facteurs entrent dans la sélection de la plante hôte par les pucerons, entre autres, les huiles essentielles (Abtew *et al.*, 2015). A partir de ces substances volatiles de la fève (variété Sutton dwarf), Webster *et al.* (2008) ont pu extraire 15 composants attractifs au puceron *A. fabae*.

L'analyse biochimique des extraits méthanoliques des feuilles des cultivars 4 et 12, n'a montré aucune différence dans la teneur en polyphénols totaux. En revanche, le cultivar résistant 12, s'est distingué par un niveau très bas en flavonoïdes (43,15 µg/g de feuilles sèches) comparativement au cultivar très sensible 4 (69,44 µg/g de feuilles sèches) (Tableau 17). Golawska *et al.* (2008) ont mis en évidence que les cultivars de la luzerne résistants à *A. pisum*, sont très riches en saponine mais très pauvres en flavonoïdes.

D'autres études ont montré que les métabolites secondaires ont une activité aphicide. A titre d'exemples, Kordan *et al.* (2008) ont mentionné que le cultivar de lupin résistant (Juno), contient une concentration élevée en lupanine (0,59µg/g de matière sèche) comparativement au cultivar sensible (Markiz) (0,51µg / g de matière sèche). De leur part, Cai *et al.* (2004) ont rapporté que le cultivar de blé (KOK 1679), résistant à *Sitobion avenae*, a une teneur élevée en alcaloïdes et en acide hydroxamique.

II.6 Action insecticide des extraits aqueux et méthanolique

Dans cette partie de l'étude, l'effet insecticide a été évalué après avoir traité les feuilles du cultivar le plus sensible (4) par des extraits aqueux et méthanolique du cultivar le plus résistant (12).

II.6.1 Résultats

Les résultats ont montré une différence hautement significative ($P < 0,001$; $\chi^2_{13,82} = 109,37$) entre les différentes feuilles traitées. L'extrait méthanolique a engendré la mortalité la plus importante (65,71%), comparativement au témoin (1,43%) et à l'extrait aqueux (1,43%) (Tableau 19).

Tableau 19: Taux de mortalité des adultes *d'A. fabae* placés sur les feuilles du cultivar de fève sensible (4) traitées avec les extraits aqueux et méthanolique du cultivar résistant (12).

Paramètres	Témoin	Extrait aqueux	Extrait méthanolique	Nombre total d'adultes	Test Khi-deux (χ^2)
Nombre d'adultes vivants	69	69	24	162	$\chi^2 = 109,37$ $\nu = 2$ $P = 0,000^*$
Nombre d'adultes morts	1	1	46	48	
Nombre total d'adultes	70	70	70	210	
Taux de mortalité (%)	1,43	1,43	65,71	22,85	

Témoin : traitement à base de l'eau distillée, ν : degrés de liberté, * $P < 0,001$.

II.6.2 Discussion

Il est constaté que la mortalité la plus importante *d'A. fabae*, est enregistrée sur les feuilles traitées avec l'extrait méthanolique, comparativement à l'extrait aqueux et au témoin (eau distillée) (Tableau 19). Cette différence significative, démontre la forte bio-activité de l'extrait méthanolique. Ce taux élevé de mortalité à l'égard du puceron noir, peut être lié à l'effet toxique du méthanol ou à l'action combinée (synergisme) de ce produit avec d'autres molécules produites par le cultivar 12 ou le cultivar 4.

Plusieurs travaux sont déjà effectués sur l'effet insecticide des extraits des plantes sur le puceron noir de la fève, entre autres, l'extrait brut des feuilles de *T.*

minuta (150g/l) (Mmbone *et al.*, 2014), l'extrait acétonique des graines de *Peganum harmala* (60 mg/ml) (Salari *et al.*, 2012), l'huile de *Jatropha curcas* (15%) (Habou *et al.*, 2011), l'extrait acétonique des feuilles d'*Otostegia persica* (80 µL/ml) (Salari *et al.*, 2010).

Les résultats obtenus ont montré que l'extrait méthanolique des feuilles du cultivar résistant 12, est très mortel à *A. fabae* malgré sa faible teneur en flavonoïdes (43,15 µg/g feuilles sèches). De leur part, Frah *et al.* (2013), ont remarqué que l'augmentation de la concentration en flavonoïdes extraits de la fève n'a pas affecté le taux de mortalité d'*A. craccivora*. Cependant, Frah (2009) et Ateyyat *et al.* (2012), ont constaté que l'augmentation de la concentration en flavonoïdes affecte la mortalité des nymphes de *Dysaphis plantaginea* et *Eriosoma lanigerum*.

II.6.3 Conclusion

L'extrait méthanolique des feuilles du cultivar 12 (65,71%) s'est montré le plus toxique au puceron noir de la fève. Par contre, l'extrait aqueux n'a exprimé qu'une très faible mortalité (1,43%).

Conclusion générale et perspectives

La résistance naturelle de 14 cultivars de fève à l'égard du puceron noir *Aphis fabae* a été évaluée en plein champ dans la station expérimentale des bio-ressources du CRSTRA à El-Outaya (Biskra). Par ailleurs, des tests et des analyses sont effectués au laboratoire et sous un abri serre afin d'étudier d'une part, les mécanismes impliqués dans cette résistance et d'autre part, la corrélation entre cette résistance et certains aspects morphologiques et chimiques de ces cultivars.

Concernant le niveau de la résistance, les trois lectures effectuées 10, 20 et 30 jours de l'infestation artificielle des plants en plein champ, a permis de classer six cultivars (1, 9, 12, 13, 14 et 15) comme résistants. Alors que, le cultivar 4, s'est montré le plus sensible. Les autres cultivars (3, 5, 6, 7, 8, 10 et 11), ont exprimé des niveaux de résistance variables dans le temps.

L'estimation de la hauteur des plants et de la surface foliaire, n'a fait ressortir aucune implication de ces deux paramètres morphologiques dans la résistance des cultivars.

Quant à l'étude du mécanisme antixénotique ou la non préférence, les résultats ont révélé que les cultivars 1 et 12, sont les moins attractifs aux adultes *d'A. fabae*, que ce soit en position de lumière ou d'obscurité. En revanche, le cultivar 4, s'est montré le plus attirant au cours des deux tests.

Concernant le mécanisme d'antibiose, les femelles *d'A. fabae* élevées sur le cultivar 12, se sont distinguées par une faible vigueur et un faible potentiel biotique. Par ailleurs, l'étude a révélé une corrélation positive entre certains paramètres biotiques des femelles, notamment, entre le nombre d'embryons (total et développés) et le poids corporel.

Les analyses chimiques réalisées, n'ont montré aucune différence dans les teneurs en polyphénols totaux entre les cultivars résistants et le témoin sensible. Par contre, une différence significative est enregistrée dans la teneur en flavonoïdes totaux et le cultivar résistant 12, s'est montré le plus pauvre (43,15 µg / g feuilles sèches).

En ce qui concerne le mécanisme de la tolérance, les résultats de l'analyse statistique de la perte en hauteur entre les plants non infestés et infestés de chaque cultivar, n'ont montré aucune différence significative.

L'étude a révélé également que les feuilles du cultivar le plus sensible 4, sont plus répulsives aux adultes aptères d'*A. fabae*, lorsqu'elles sont traitées par l'extrait aqueux (0,1%) du cultivar résistant 12, que ce soit en test de lumière ou d'obscurité.

Par ailleurs, les feuilles du cultivar sensible 4, sont plus toxiques (65,71% de mortalité) aux adultes aptères d'*A. fabae*, lorsqu'elles sont traitées avec l'extrait méthanolique du cultivar 12.

D'une façon générale, l'étude a montré que parmi les 14 cultivars collectés dans les régions de Batna et Biskra et soumis à un premier test en plein champ, 12 cultivars se sont montrés résistants au puceron noir de la fève au moins une fois parmi les trois évaluations effectuées après 10, 20 et 30 jours de l'infestation artificielle des plants.

Tenant compte de l'ensemble des évaluations effectuées en plein champ et sous serre et des analyses et des tests réalisés au laboratoire, il semble que le cultivar 12 est le plus performant parce qu'il a fait intervenir dans sa résistance deux mécanismes à la fois, à savoir l'antixénose et l'antibiose. Il est jugé que ce type de résistance (plusieurs mécanismes et plusieurs gènes), est plus stable, difficile à contourner par les bio-agresseurs et plus exploitable.

Dans l'intérêt de préserver et de valoriser le matériel végétal local; menacé de disparition et d'érosion génétique, il est temps de prendre en charge cette richesse nationale inestimable et d'encourager les travaux de recherche dans ce domaine. Du point de vue phytosanitaire, la sélection des cultivars résistants aux différents bio-agresseurs, peut éviter aux agriculteurs algériens, les dépenses faramineuses dans l'achat des pesticides et les problèmes écologiques et sanitaires.

Afin de préserver la semence de base de ce matériel végétal déjà sélectionné et juger utile du point de vue agronomique et phytosanitaire (cas du cultivar 12), il est souhaitable de créer des centres techniques d'amélioration des plantes et des banques de gènes.

Par ailleurs, Il sera intéressant également d'accorder une importance aux extraits naturels des plantes, comme des extraits aqueux ou méthanoliques de la fève et qui peuvent être introduits dans les programmes de la lutte contre les insectes ravageurs des cultures comme des bio-insecticides.

Il est intéressant également d'élargir ce genre de travaux, afin de mieux comprendre l'implication des barrières physico-chimiques (cas de la cire épidermique de la fève) et les métabolites primaires et secondaires dans les phénomènes de résistance naturelle chez les plantes.

Références bibliographiques

- Abtew A, Subramanian S, Cheseto X, Serge Kreiter S, Garzia GT & Martin T. 2015. Repellency of plant extracts against the legume flower thrips *Megalurothrips sjostedti* (Thysanoptera: Thripidae). *Insects* **6**: 608 - 625.
- Agostini-Costa TS, Vieira RF, Bizzo HR, Silveira D & Gimenes MA. 2012. Secondary metabolites. In: Dhanarasu S (ed), Chromatography and its applications, Intech publisher, Rijeka, Croatia, 131-164.
- Alvarez AE, Tjallingii WF, Garzo E, Vleeshouwers V, Dicke M & 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.
- Annan IB, Tingey WM, Schaefer GA & Saxena KN. 1996. Reproductive performance and population dynamics of cowpea aphid (Homoptera: Aphididae) on leaf extracts of resistant and susceptible cowpeas. *Journal of Chemical Ecology* **22**(7): 1345 - 1354.
- Arya H, Singh BR & Singh K. 2014. Insecticidal activity of petroleum ether extract of castor seeds against mustard aphid *Lipaphis erysimi* Kaltendbach. *Advances in BioResearch* **5**(1): 165 - 168.
- Ateyyat M, Abou-Romman S, Abu-Darwish M & Ghabeish I. 2012. Impact of Flavonoids against Woolly Apple Aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) and Its Sole Parasitoid, *Aphelinus mali* (Hald.). *Journal of Agricultural Science* **4**(2): 227 - 236.
- Baidoo PK, Baidoe-Ansah D & Agbonu I. 2012. Effects of Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) Products on *Aphis craccivora* and its Predator *Harmonia axyridis* on Cowpea. *American Journal of Experimental Agriculture* **2**(2): 198 - 206.
- Bagavan A, Kamaraj C, Abdul Rahuman A, Elango G, Abdul Zahir A & Pandian G. 2009. Evaluation of larvicidal and nymphicidal potential of plant extracts against *Anopheles subpictus* Grassi, *Culex tritaeniorhynchus* Giles and *Aphis gossypii* Glover. *Parasitology Research* **104**: 1190 - 1117.
- Barre F, Milsant F, Palasse C, Prigent V, Goussard F & 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.
- Ben Hamouda A, Zarrad K, Laarif A & Chaieb I. 2015. Insecticidal effect of *Solanum elaeagnifolium* extracts under laboratory conditions. *Journal of Entomology and Zoology Studies* **3**(3): 187 - 190.
- Berlandier FA. 1996. Alkaloid level in narrow-leaved lupin, *Lupinus angustifolius*, influences green peach aphid reproductive performance. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **79**: 19 - 24.

Bernays EA & Chapman RF. 1994. Host-Plant Selection by Phytophagous Insects. Ed. Chapman & Hall, New York, 312p.

Berryman AA. 1988. Towards a unified theory of plant defense. In: Mattson WJ, Levieux J, Bernard-Dagan C (ed), Mechanisms of woody plant defenses against insects: Search for pattern, Springer-Verlag, New York, 39 - 53.

Blackman RL & Eastop VF. 2007. Taxonomic issues. In: van Emden HF, Harrington R. (ed), Aphids as Crop Pests, CABI Millennium, U. K., 1 - 29.

Bonnemain JL. 2010. Aphids as biological models and agricultural pests. *Comptes Rendus Biologies* **333**: 461- 463.

Budak S, Quisenberry SS & Ni X. 1999. Comparison of *Diuraphis noxia* resistance in wheat isolines and plant introduction lines. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **92**: 157 - 164.

Bushra S, Tariq M, Naeem M & Ashfaq M. 2014. Efficacy of neem oil and turmeric powder against *Sitobion avenae* and *Rhopalosiphum padi*. *International Journal of Biosciences* **5**(12): 439 - 448.

Butler LG. 1989. Sorghum polyphenols. In: Cheeke PR (ed), Toxicant of plant origin, CRC Press, New York, 95 - 121.

Cai QN, Zhang QW & Cheo M. 2004. Contribution of indole alkaloids to *Sitobion avenae* (F.) resistance in wheat. *Journal of Entomology and Nematology* **128**(8): 517 - 521.

Castro AM, Ramos S, Vasicek A, Worland A, Giménez D, Clúa AA & Suárez E. 2001. Identification of wheat chromosomes involved with different types of resistance against greenbug (*Schizaphis graminum*, Rond.) and the Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*, Mordvilko). *Euphytica* **118**: 321- 330.

Castro AM, Vasicek A, Manifiesto M, Giménez DO, Tacaliti MS, Dobrovolskaya O, Röder MS, Snape JW & Börner A. 2005. Mapping antixenosis genes on chromosome 6A of wheat to greenbug and to a new biotype of Russian wheat aphid. *Plant Breeding* **124**: 229 - 233.

Castro AM, Vasicek A, Ramos S, Worland A, Suárez E, Muñoz M, Giménez D & Clúa AA. 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.

Chafi MH & Bensoltane A. 2009. *Vicia faba* (L.), a source of organic and biological manure for the Algerian arid region. *World Journal of Agricultural Science* **5**(6): 698 - 706.

Chaman ME, Copaja SV & Argandona VH. 2003. Relationships between salicylic acid content, phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity, and resistance of barley to aphid infestation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**: 2227 - 2231.

Chermenskaya TD, Stepanycheva EA, Shchenikova AV Sh & Chakaeva A. 2010. Insectoacaricidal and deterrent activities of extracts of Kyrgyzstan plants against three agricultural pests. *Industrial Crops Products* **32**: 157 - 163.

Comeau A. 1992. La résistance aux pucerons: aspects théoriques et pratiques. In: Morin G (ed), *La lutte biologique*, Canada, 433 - 449.

Cuartero J, Laterrot H & van Lenteren JC. 1999. Host-plant resistance to pathogens and arthropod pests. In: Albajes R, Lodovica-Gulino M, van Leneren JC, Elad Y (ed), *Integrated pest and disease management in greenhouse crops*, Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 124 - 138.

Dedryver C. A., Le Ralec A & Fabre F. 2010. The conflicting relationships between aphids and men: A review of aphid damage and control strategies. *Comptes Rendus Biologies* **333**: 539 - 553.

Dixon AFG. 1987. Parthenogetic reproduction and the rate of increase in aphids. In: Minks AK, Harrewijn P (ed), *World crop pests-aphids 2A*, Elsevier, Amsterdam, New Yourk, 269 - 287.

Dogimont C, Bendahmane A, Chovelon V & Boissot N. 2010. Host plant resistance to aphids in cultivated crops: genetic and molecular bases, and interactions with aphid populations. *Comptes Rendus Biologies* **333**: 566 - 573.

El-Defrawi G, El-Gantiry AM, Weigand S & Khalil SA. 1991. Screening of faba bean (*Vicia faba* L.) for resistance to *Aphis craccivora* Koch. *Arab Journal of Plant Protection* **9**(2): 138 -141.

El-Heneidy A, Resk G & Hekal AM. 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.

Faccoli M. 2007. Breeding performance and longevity of *Tomicus destruens* on Mediterranean and continental pine species. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **123**: 263 - 269.

Fartek B. 2011. Résistance de la canne à sucre à la maladie de la feuille jaune et à son vecteur *Melanaphis sacchari*: Association marqueur-trait dans une population de cultivars, mécanismes de résistance au vecteur, et diversité génétique du vecteur. Thèse de Doctorat en biologie végétale, Univ. de la Réunion, 175p.

Frah N. 2009. Entomofaune, impact économique et bio- écologie des principaux ravageurs du pommier dans la région des Aurès. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Agronomiques, Dép. Agro., Univ. Batna, 166p.

-
- Frah N, Nia B & Medjdoub F. 2013. Comparative effect of flavonoids extracted from the leaves of the bean (*Vicia faba* L. var. Headquarters) and acetamiprid on the second trophic level *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae) and the third trophic level *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinilidae). *Agricultural Science Research Journal* **3**(7): 199 - 203.
- Frei A, Bueno JM, Diaz-Montano J, Gu H, Cardona D & Dorn S. 2004. Tolerance as a mechanism of resistance to *Thrips palmi* in common beans. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **112**: 73 - 80.
- Gawronska H & Kielkiewicz M. 1999. Effect of the carmine spidermite (Acarida: Tetranychidae) infestation and mechanical injury on the level of ABA in tomato plants. *Acta Physiologica Plantarum* **21**: 297 - 303.
- Golawska S, Lukasik L & Leszczynski B. 2008. Effect of alfalfa saponins and flavonoids on pea aphid. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **128**: 147 - 153.
- Gomez KA & Gomez AA. 1984. Statistical procedures for agricultural research. Ed. John Willy and Sons-Inco, New York, 680p.
- Graham HD & Szabo S. 1992. Experimental gastric mucosal injury: Laboratory models reveal mechanisms of pathogenesis and new therapeutic strategies. *FASEBJ* **6**: 825 - 832.
- Habou ZA, Haougui A, Mergeai G, Haubruge E, Toudou A & Verheggen FJ. 2011. Insecticidal effect of *Jatropha curcas* oil on the aphid *Aphis fabae* (Homiptera: Aphididae) and on the main insect pests associated with cowpeas (*Vigna unguiculata*) in Niger. *Tropicultura* **29**(4): 225 - 229.
- Haile FJ, Higley LG, Ni XZ & Quisenberry SS. 1999. Physiological and growth tolerance in wheat to Russian wheat aphid (Homoptera : Aphididae) injury. *Environmental entomology* **28**: 787 - 794.
- Hesler LS, Dashiell KE & Lundgren JG. 2007. Characterization of resistance to *Aphis glycines* in soybean accessions. *Euphytica* **154**: 91- 99.
- Hesler LS & Tharp CI. 2005. Antibiosis and antixenosis to *Rhopalosiphum padi* among triticales accessions. *Euphytica* **143**: 153 -160.
- Hogenhout SA, Ammar ED, Whitfield AE & Redinbaugh MG. 2008. Insect vector interactions with persistently transmitted viruses. *Annual Review of Phytopathology* **46**: 327 -359.
- Huggett DAJ, Leather SR & Walters KFA. 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.

Ikeura H, Kobayashi F & Hayata Y. 2012. Repellent effect of herb extracts on the population of wingless green peach aphid, *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Agricultural Science* **4**(5): 139 - 144.

Jiménez-Pérez A & Wang Q. 2004. Effect of Body Weight on Reproductive Performance in *Cnephasia jactatana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Insect Behavior* **17**(4): 511 - 522.

Kersting U, Satar S & Uygun N. 1999. Effect of temperature on development rate and fecundity of apterous *Aphis gossypii* Glover (Hom., Aphididae) reared on *Gosypium hirsutum* L.. *Journal of Applied Entomology* **123**: 23 - 27.

Kessler A & Baldwin IT. 2001. Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. *Science* **291**: 2141 - 2144.

Khalidi R, Zekri S, Maatougui MEH & Ben Yassine A. 2002. L'économie des légumineuses alimentaires au Maghreb et dans le monde. In : Proceeding du 2^{ème} séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « Le devenir des légumineuses alimentaires dans le Maghreb », Hammamet, Tunisie, p 100.

Kharrat M, Sadiki M & Maatougui MEH. 2002. Analyse de la stabilité du rendement de lignées améliorées de fève et de féverole dans la région du Maghreb. In : Proceeding du 2^{ème} séminaire du réseau REMAFEVE/REMALA, « Le devenir des légumineuses alimentaires dans le Maghreb », Hammamet, Tunisie, p 100.

Khelfa L. 2004. Etude de la résistance de différentes variétés de fève cultivées dans la région de Biskra au puceron noir de la luzerne, *Aphis craccivora* Koch, 1854 (Homoptera: Aphididae). Mémoire de Magister en Agrotechnie, Dép. Agro., Univ. Batna, 134p.

Klingauf FAJ. 1982. Breeding for resistance to aphids. In: Hawtin G, Webb C. (ed), *Faba bean improvement*, The Hague, Netherlands, Martinus Nijhoff, 285-295.

Koona P, Osisanya EO, Jackai LEN, Tamo M, Reeves J & A'Hughes JD. 2002. Pod surface characteristics in wild and cultivated *Vigna* species and resistance to the coreid bug *Clavigralla tomentosicollis* Stal. (Hemiptera: Coreidae). *Insect Science Applied* **22**: 1- 8.

Kordan B, Gabryś B, Dancewicz K, Lahuta LB, Piotrowicz-Cieślak A & Rowińska E. 2008. European yellow lupine, *Lupinus luteus*, and narrow-leaf lupine, *Lupinus angustifolius*, as hosts for the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **128**: 139 - 146.

Laamari M. 2004. Etude écobioologique des pucerons des cultures dans quelques localités de l'Est Algérien. Thèse Doctorat d'Etat en Sciences Agronomiques, INA, El-Harrach, 204p.

Laamari M, Khelfa L & Coeur d'Acier A. 2008. Resistance source to cowpea aphid (*Aphis craccivora* Koch) in broad bean (*Vicia faba* L.) Algerian landrace collection. *African Journal of biotechnology* 7(14): 2486 - 2490.

Lage J, Skovmand B & Andersen SB. 2004. Resistance categories of synthetic hexaploid wheats resistant to the Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*). *Euphytica* 136: 291- 296.

Lanteigne ME. 2014. Influence de la variété de laitue (*Lactuca sativa*) sur le puceron (*Nasonovia ribisnigri*) et le parasitoïde (*Aphidius ervi*) dans le contexte d'une relation tritrophique. Mémoire en Sciences biologiques, Univ. Montréal, 80p.

Larif M, Zarrouk A, Soulaymani A & Elmidaoui A. 2013. New innovation in order to recover the polyphenols of olive mill wastewater extracts for use as a biopesticide against the *Euphyllura olivira* and *Aphis citricola*. *Research on Chemical Intermediates* 39: 4303 - 4313.

Larrald J & Martinez JA. 1991. Nutritional value of faba bean : Effect on nutrient utilization, protein turnover and immunity. In : Option méditerranéennes: present statut and future perspets of faba bean production, ICARDA, Série A, n° 10: 111 - 117.

Larsson S. 2002. Resistance in trees to insects - an overview of mechanisms and interactions. In: Wagner MR, Clancy KM, Lieutier F, Paine TD (ed), Mechanisms and deployment of resistance in trees to insects, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 1 - 29.

Leather SR, Ward SA & Dixon AFG. 1983. The effect of nutrient stress on life history parameters of the black bean aphid, *Aphis fabae* Scop.. *Oecologia* 57:156 - 157.

Leather SR & Wellings PW. 1981. Ovariole number and fecundity in aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 30: 128 - 133.

Lebbal S. 2010. Contribution à l'étude de la résistance naturelle de la fève au puceron noir de la luzerne *Aphis craccivora* (Homoptera : Aphididae). Mémoire de Magister en Agronomie, Dép. Agro., Univ. Batna, 75p.

Leszczynski B, Wright L & Bakowski T. 1989. Effect of secondary plant substances on winter wheat resistance to grain aphid. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 52: 135 - 139.

Llewellyn M & Brown VK. 1985. A general relationship between adult weight and the reproductive potential of aphids. *Journal of Animal Ecology* 54: 663 - 673.

Maatougui MEH. 1996. Situation de la culture des fèves en Algérie et perspectives de relance. *Revue Céréaliculture* 29: 6 - 14.

Mahmoudi S, Khali M & Mahmoudi N. 2013. Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (*Cynara scolymus* L.). *Nature et Technologie: Sciences Agronomiques et Biologiques* 9: 35 - 40.

Maia FM & Moore JS. 2011. Plant-based insect repellents: A review of their efficacy, development and testing. *Malaria Journal* **10** (1): 1- 15.

Marin-Dominguez M, Pérez-Leal R, Nunez-Barrios A, Basurto-Sotelo M & Soto-Parra JM. 2014. Exposition of pecan black aphid (*Melanocallis caryaefoliae*) to creseote bush (*Larrea tridentata*) extracts. *Agricultural Sciences* **5**: 1369 - 1375.

Marohasy J. 1997. Acceptability and suitability of seven plant species for the mealybug *Phenacoccus parvus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **84**: 239 - 246.

Meradsi F. 2009. Contribution à l'étude de la résistance naturelle de la fève *Vicia faba* L. au puceron noir *Aphis fabae* Scopoli, 1763 (Homoptera: Aphididae). Mémoire de magister en Agronomie, Dép. Agro., Univ. Batna, 83p.

Mihale MJ, Deng AL, Selemani HO, Mugisha-Kamatenesi M, Kidukuli AW & Ogendo JO. 2009. Use of Indigenous knowledge in the management of field and storage pests around Lake Victoria basin in Tanzania. *African Journal of Environmental Science and Technology* **3**(9): 251 - 259.

Miles PW. 1999. Aphid saliva. *Biological Review* **74**: 41- 85.

Mmbone S, Mulaa M, Wanjala FM, Nyukuri RW & Cheramgoi E. 2014. Efficacy of *Tagetes minuta* and *Tephrosia vogelii* crude leaf extracts on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Aphis fabae* (Homoptera: Aphididae). *African Journal of Food Science and Technology* **5**(8): 168 - 173.

Mouhouche F. 1997. Les principaux ravageurs des fèves en Algérie. In: Les maladies, adventices et ravageurs des fèves, Réseau Magrébin de la recherche sur la fève (REMAFEVE), ITGC, INPV, ENSA, REMAFEVE, 33 - 42.

Nagaraj N, Reese JC, Kirkham MB, Kofoed K, Campbell LR & Loughin TM. 2002. Effect of greenbug, *Schizaphis graminum* (Rondani) (Homoptera: Aphididae) biotype K on chlorophyll content and photosynthetic rate of tolerant and susceptible sorghum hybrids. *Journal of Kansas Entomological Society* **75**: 299 - 307.

Nia B, Frah N, Azoui I. 2015. Insecticidal activity of three plants extracts against *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) and their phytochemical screening. *Acta agriculturae Slonica* **105**: 261- 267.

Norris DM. 1986. Anti-feeding compounds. In: Chemistry of Plant Protection I, Springer Verlag, Berlin, 97 - 146.

Ogendo JO, Belmain SR, Deng AL & Walker DJ. 2003. Comparison of toxic and repellent effects of *Lantana camara* L. with *Tephrosia vogelii* hook and a synthetic pesticide against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) in stored maize grain. *Insect science and its Application* **23**(2): 127-135.

-
- Pavela R, Vrchotova N & Sera B. 2009. Repellency and toxicity of three Impatiens species (Balsaminaceae) extracts on *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae). *Journal of Biopesticides* **2**(1): 48 - 51.
- Phoofolo MW, Mabaleha S & Mekbib SB. 2013. Laboratory assessment of insecticidal properties of *Tagetes minuta* crude extracts against *Brevicoryne brassicae* on cabbage. *Journal of Entomology and Nematology* **5**(6): 70 - 76.
- Powell G, Maniar SP, Pickett JA & Hardie J. 1999. Aphid responses to non-host epicuticular lipids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **91**: 115 - 123.
- Prado E & Tjallingii WF. 1997. Effects of previous plant infestation on sieve element acceptance by two Aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **82**: 189 - 200.
- Quénéhervé P, Valette C, Topart P, Tezenas du Montcel H, Salmon F. 2009. Nematode resistance in bananas: screening results on some wild and cultivated accessions of *Musa* spp. *Euphytica* **165**: 123 - 136.
- Ranger CM, Singh AP, Johnson-Cicalese J, Polavarapu S & Vorsa N. 2007. Intraspecific Variation in Aphid Resistance and Constitutive Phenolics Exhibited by the Wild Blueberry *Vaccinium darrowi*. *Journal of Chemical Ecology* **33**: 711- 729.
- Regnault-Roger C. 2016. Préserver la santé des plantes avec des allomones végétales et des extraits botaniques: quelques clefs pour une phytoprotection agricole durable. Ed. Académie d'agriculture de France, 23p.
- Rossing WAH. 1991. Simulation of damage in winter wheat caused by the grain aphid *Sitobion avenae*. Calculation of damage at various attainable yield levels. *Netherlands Journal of Plant Pathology* **97**: 87 - 103.
- Ruchika K & Kumar D. 2012. Occurrence and infestation level of sucking pests: Aphids on various host plants in agricultural fields of Vadora, Gujarat (India). *International Journal of Scientific and Research Publications* **2**(7): 1- 6.
- Sable M & Kushwaha RK. 2014. Efficacy of different plant leaf extract against mustard aphid *Lipaphis erysimi* (Kalt). *Journal of Industrial Pollution Control* **30**(2): 231 - 233.
- Salari I, Ahmadi K, Dehyaghobi RZ, Purhematy A & Takalloozadeh HM. 2012. Toxic and repellent effect of harmal (*Peganum harmala* L.) acetonc extract on several aphids and *Tribolium castaneum* (Herbest). *Chilean Journal of Agricultural Research* **72**(1): 147 - 151.
- Salari I, Ahmadi K & Zamani R. 2010. Study on the effects of acetonc extract of *Otostegia persica* (Labiatae) on three aphid species and one stored product pest. *Advances in Environmental Biology* **4**(3): 346 - 349.
- Sauge MH, Kervella J & 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.
-

-
- Shannag HK & Ababneh JA. 2007. Biometry and responses of faba bean varieties to black bean aphid, *Aphis fabae* Scopol. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 2(4): 328 - 334.
- Smith CM. 1989. Plant resistance to insects: A fundamental approach. Ed. John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 286p.
- Smith CM. 2005. Plant resistance to arthropods: Molecular and conventional approaches. Ed. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 421p.
- Smith CM & Clement SL. 2012. Molecular bases of plant resistance to arthropods. *Annual Review of Entomology* 57: 309 - 328.
- Smith CM, Havlíčková H, Starkey S, Gill BS & Holubec V. 2004. Identification of *Aegilops* germplasm with multiple aphid resistance. *Euphytica* 135: 265 - 273.
- Smith HG & Hallsworth PB. 1990. The effects of yellowing viruses on yield of sugar beet in field trials, 1985 and 1987. *Annals of Applied Biology* 116: 503 - 511.
- SPSS IBM Statistics. 2015. SPSS for Windows, Version 23.0.0.0 Chicago, Illinois.
- Strauss SY & Agrawal AA. 1999. The ecology and evolution of plant tolerance to herbivory. *Trends Ecology Evolutionary* 14: 179 - 185.
- Streblor G. 1989. Les médiateurs chimiques, leur incidence sur la bioécologie des animaux. Ed. Technique et documentation-Lavoisier, Paris, 246p.
- Tawatia BS & Virk AS. 1996. Faba bean information service. FABIS, N° 38/39, Ed. ICARDA, Alep, 1 - 8.
- Taylor LR. 1975. Longevity, fecundity and size; control of reproductive potential in a polymorphic migrant, *Aphis fabae* Scop. *Journal of Animal Ecology* 44: 135 - 163.
- Thomas S. 2011. Pressions de sélection exercées par les résistances génétiques du melon sur les populations d'*Aphis gossypii*. Doctoral dissertation, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Montpellier, 177p.
- Tinzaara W, Tushemereirwe W, Nankinga CK, Gold CS & Kashaija I. 2006. The potential of using botanical insecticides for the control of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae). *African Journal of Biotechnology* 5(20): 1994 - 1998.
- Tolmay VL, van der Westhuizen MC & van Deventer CS. 1999. A six week screening method for mechanisms of host plant resistance to *Diuraphis noxia* in wheat accessions. *Euphytica* 107: 79 - 89.

Traicevski V & Ward SA. 2002. The effect of paste and current hosts on reproductive investment by the adult cowpea aphid *Aphis craccivora*. *Ecological entomology* **27**: 601- 607.

UPOV (International Union for the Protection of new Varieties of Plants). 2003. Broad Bean (*Vicia faba* L. var. *major* Harz). Leading principles for the conduct of the exam, the distinction, the homogeneity and the stability, UPOV, Switzerland, Geneva, p 30.

van Emden HF. 2007. Host-plant resistance. In: van Emden HF, Harrington R (ed.), *Aphids as crop pests*, CAB international, Cambridge, UK, 447 - 468.

Viglianco AI, Novo RJ, Cragolini CI, Nassetta M & Cavallo EA. 2008, Antifeedant and repellent effects of extracts of three plants from Cordoba (Argentina) against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *BioAssay* **3**(4): 1- 6.

Visser JH, Piron PGM & Hardie J. 1996. The aphids' peripheral perception of plant volatiles. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **80**: 35 - 38.

Wattier C. 2013. Pucerons et paroi végétale: implication directe ou indirecte de pectine méthylestérase dans la résistance d'*Arabidopsis thaliana* ? Thèse de Doctorat en Biologie Cellulaire et Moléculaire, Université de Picardie Jules Verne, France, 171p.

Webster B, Bruce T, Dufour S, Birkemeyer C, Birkett M, Hardie J & Pickett J. 2008. Identification of Volatile Compounds Used in Host Location by the Black Bean Aphid, *Aphis fabae*. *Journal of Chemical Ecology* **34**(9): 1153 - 1161.

Weigand S & Bishara SI. 1991. Status of insect pests of faba bean in the Mediterranean region and methods of control. In: Cubero JI, Saxena MC (ed.). Present status and future prospects of faba bean production and improvement in the Mediterranean countries (Options Méditerranéennes : Série A, Séminaires Méditerranéens n° 10, CIHEAM, Zaragoza, 67 - 74.

Wubie M, Negash A, Guadie F, Molla G, Kassaye K & Raja N. 2014. Repellent and insecticidal activity of *Mentha piperita* (L.) plant extracts against cabbage aphid [*Brevicoryne brassicae* Linn. (Homoptera: Aphididae)]. *American-Eurasian Journal of Scientific Research* **9**(6): 150 - 156.

Wyatt IJ & White PF. 1977. Simple estimation of intrinsic increase rates for aphids and tetranychid mites. *Journal of applied Ecology* **14**: 757 - 766.

تم في هذا البحث دراسة المقاومة الطبيعية لـ 14 نوع محلي من الفول (*Vicia faba* L. (Fabales: Fabaceae) ضد حشرة من الفول الأسود (*Aphis fabae* Scopoli (Homoptera: Aphididae) في الحقل.

أظهرت النتائج مقاومة مهمة وثابتة لستة أنواع (1, 9, 12, 13, 14 و 15) خلال التقييمات الثلاثة التي أجريت، بعد التمرير الاصطناعي لنباتات الأنواع السابقة. الدراسة الإحصائية التي أجريت على طول السيقان ومساحة الأوراق لكل من النوعين المقاوم والحساس أسفرت على أن هاتين الخاصيتين لا علاقة لهما مع درجة مقاومة نبات الفول لمن الفول الأسود.

كشفت النتائج التي أجريت في البيت البلاستيكي و المخبر على أن النوع رقم 12 لديه مقاومة مهمة عن طريق الطرد والتأثير على بيولوجيا الحشرة في نفس الوقت.

التحليل الكيميائي للأوراق بين أن كمية الفينولس لا تختلف إحصائياً بين الأنواع المقاومة والحساسة. في حين أن النوع رقم 12 يحتوي على أقل كمية من الفلافونويدس مقارنة مع الأنواع الأربعة الأخرى.

التجارب التي أجريت في المخبر بينت أن المستخلص المائي لأوراق النوع رقم 12 لديه خاصية طرد عالية ضد الحشرات البالغة لمن الفول الأسود. كما بينت النتائج أن المستخلص الميثانولي لأوراق نفس النوع يتميز بخاصية سمية عالية ضد من الفول الأسود وصلت إلى معدل 65,71%.

الكلمات الدالة: أنواع الفول ، آليات المقاومة ، فلافونويدس ، فينولس ، من الفول الأسود.

Abstract

The level of resistance of fourteen local broad bean, *Vicia faba* L. (Fabales: Fabaceae) against the Black bean aphid, *Aphis fabae* Scopoli (Homoptera: Aphididae) was screened in the field. The results showed that six cultivars (1, 9, 12, 13, 14 and 15) were the most resistant in the three counts, 10, 20 and 30 days after artificial infestation of plants. The comparison of the plant height and leaflet surface between the two categories of cultivars didn't show any implication of these two morphological characters in the resistance of the bean to this aphid.

The study of the resistance mechanisms under greenhouse and laboratory resulted that the cultivar 12 was the most interesting by the fact that it resists in both tests (antixénose and antibiose).

The biochemical analysis of the foliage indicated that the content of total phenols among the five cultivars did not differ significantly. However, at the resistant cultivar 12, the content of total flavonoids was low than the other cultivars.

Tests then done at the laboratory indicated that the aqueous leaf extracts of cultivar 12 had a remarkable repulsive effect against the *Aphis fabae* adults. Otherwise, the results revealed that the methanolic leaf extracts of the same cultivar had a toxic effect induced a high *A. fabae* mortality that reached in mean to 65.71%.

Key-words: *Aphis fabae*, broad bean cultivars, flavonoids, mechanisms of resistance, phenols.

Résumé

La résistance de quatorze cultivars locaux de fève, *Vicia faba* L. (Fabales: Fabaceae) à l'égard du puceron noir *Aphis fabae* Scopoli (Homoptera: Aphididae) a été évaluée au plein champ. Les résultats ont montré que six cultivars (1, 9, 12, 13, 14 et 15) ont exprimé un niveau de résistance intéressant et stable au cours des comptages effectués, 10, 20 et 30 jours de l'infestation artificielle des plants. La comparaison de la hauteur des plants et de la surface foliaire des cultivars résistants au puceron noir avec ceux du cultivar le plus sensible, n'a révélé aucune implication de ces deux caractères morphologiques dans la résistance de la fève à ce puceron.

L'étude des mécanismes de résistance sous abri serre et au laboratoire a mis en évidence que le cultivar 12 est le plus intéressant par le fait qu'il résiste par antixénose et antibiose à la fois.

L'analyse biochimique du feuillage n'a montré aucune différence dans la concentration des polyphénols totaux entre les cultivars de fève résistants à *A. fabae* et le cultivar très sensible. Par contre, chez le cultivar résistant 12, la teneur en flavonoïdes totaux était très faible comparativement au reste des cultivars.

Les testes effectués au laboratoire ont mis en évidence que l'extrait aqueux des feuilles du cultivar 12, possède un effet répulsif remarquable vis-à-vis des adultes d'*A. fabae*. Par ailleurs, l'étude a révélé que l'extrait méthanolique toujours des feuilles du cultivar 12, a un effet toxique sur ce puceron et la mortalité a atteint une moyenne de 65,71%.

Mots-clés: *Aphis fabae*, cultivars de fève, flavonoïdes, mécanisme de résistance, polyphénols.