



HAL
open science

Conception d'associations en maraîchage de plein champ : exemple de production de melons associés à des bandes fleuries pour lutter contre les pucerons et les virus

Alexandra Schoeny, Nathalie Boissot, Jérôme Lambion, Catherine Wipf-Scheibel, Pascale Mistral, Patrick Gognalons, Karine Nozeran, Hervé Lecoq

► To cite this version:

Alexandra Schoeny, Nathalie Boissot, Jérôme Lambion, Catherine Wipf-Scheibel, Pascale Mistral, et al.. Conception d'associations en maraîchage de plein champ : exemple de production de melons associés à des bandes fleuries pour lutter contre les pucerons et les virus. *Innovations Agronomiques*, 2014, 40, pp.113-124. 10.17180/rtc4-gs06 . hal-02638166

HAL Id: hal-02638166

<https://hal.inrae.fr/hal-02638166v1>

Submitted on 28 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Conception d'associations en maraîchage de plein champ : exemple de production de melons associés à des bandes fleuries pour lutter contre les pucerons et les virus

Schoeny A.¹, Boissot N.², Lambion J.³, Wipf-Scheibel C.¹, Mistral P.², Gognalons P.¹, Nozeran K.¹, Lecoq H.¹

¹ INRA, UR407 Pathologie Végétale, CS60094, F-84143 Montfavet cedex

² INRA, UR1052 Génétique et Amélioration des Fruits et Légumes, CS60094, F-84143 Montfavet cedex

³ Groupe de Recherche en Agriculture Biologique (GRAB), BP11283, F-84911 Avignon cedex 9

Correspondance : alexandra.schoeny@avignon.inra.fr

Résumé

Une expérimentation pluriannuelle et multidisciplinaire a permis une évaluation du rôle potentiel des bandes fleuries pour diminuer le risque de colonisation aphidienne et le risque d'épidémie virale en cultures de melon. L'implantation de bandes fleuries a favorisé le développement d'une importante entomofaune auxiliaire à proximité des cultures. Les auxiliaires spécifiques des pucerons, notamment les Coccinellidés, ont été plus fréquents sur les melons côté bandes fleuries que sur les melons côté sol nu. Les niveaux moyens de colonisation par *Aphis gossypii* ont toutefois été équivalents quel que soit le type d'aménagement. L'efficacité du gène *Vat* sur la colonisation par *Aphis gossypii* mais également sur le développement de certains virus (CABYV et CMV) a été confirmée. De plus, le développement du WMV, non contrôlé par *Vat*, a été réduit certaines années en présence de bandes fleuries.

Mots-clés : *Aphis gossypii*, *Cucumis melo*, ennemis naturels, gène *Vat*, gestion agro-écologique, lutte biologique par conservation, transmission virale

Abstract: Conception and evaluation of flower strips to control aphids and viruses in melon crops

A pluriannual and multidisciplinary experiment allowed an evaluation of the potential role of flower strips to decrease the risk of aphid colonization and the risk of viral epidemics in melon crops. Sown flower strips attracted natural enemies near the crops. Aphid-specific natural enemies, in particular *Coccinellidae*, were more frequent on melons near flower strips than on melons near bare soil. The average levels of colonization by *Aphis gossypii* were however equivalent whatever the field margin type. The efficiency of the *Vat* gene on the colonization by *Aphis gossypii* but also on the development of certain viruses (CABYV and CMV) was confirmed. Moreover, the development of WMV, uncontrolled by *Vat*, was reduced certain years in the presence of flower strips.

Keywords: Agroecological management, *Aphis gossypii*, conservation biological control, *Cucumis melo*, natural enemies, *Vat* gene, virus transmission

Introduction

Le puceron *Aphis gossypii* est un ravageur majeur des cultures de Cucurbitacées, tant par les dégâts directs qu'il occasionne (prélèvement de sève élaborée), qu'en tant que vecteur de virus. Il existe chez le melon une résistance à la colonisation par *Aphis gossypii*. Cette résistance est conférée par un gène majeur nommé *Vat* (Pitrat et Lecoq, 1982 ; Boissot *et al.*, 2010). Elle agit sur le comportement du

puceron (il quitte rapidement la plante) et réduit très fortement son potentiel biotique. Cependant le gène *Vat* n'a pas une efficacité équivalente face à différents clones d'*Aphis gossypii* (Boissot *et al.*, 2014) et sa durabilité est variable en fonction de l'agrosystème dans lequel il est déployé (Thomas *et al.*, soumis). Le gène *Vat* confère également au melon une résistance aux virus non persistants vectés par *Aphis gossypii* (Lecoq *et al.*, 1979) et ce pour une large gamme de clones d'*Aphis gossypii* (Boissot *et al.*, 2014). Mais son efficacité à contrôler ces virus en plein champ est faible parce qu'*Aphis gossypii* n'est pas la seule espèce vectrice de virus. L'utilisation de *Vat* est donc généralement couplée à des traitements aphicides mais ces traitements ne sont pas suffisants pour limiter l'impact économique des épidémies virales. Par ailleurs, la réduction progressive de l'usage des produits phytosanitaires imposée par l'évolution de la réglementation (plan EcoPhyto) conduit à rechercher de nouvelles stratégies permettant d'accompagner la lutte génétique pour la gestion des bio-agresseurs. Les gènes majeurs tels que *Vat* étant rares, ces stratégies devront d'une part proposer une alternative efficace à la lutte chimique et d'autre part assurer la durabilité de la lutte génétique.

Le risque d'apparition d'individus contournants est conditionné par la taille de la population aphidienne infestant la culture de melons : plus la population est grande, plus la probabilité qu'un génotype adapté soit présent en son sein est grande. Toute pratique permettant de réduire la taille de la population aphidienne infestante permet donc potentiellement de réduire le risque de contournement.

Près de 60% des virus de plantes connus sont transmis par des insectes, parmi lesquels les pucerons sont les principaux vecteurs. En particulier, les virus non persistants sont transmis exclusivement par des pucerons. Le mode de transmission non persistante est caractérisé par des périodes d'acquisition et de rétention très courtes : le puceron devient virulifère après quelques brèves piqûres d'essais sur une plante virosée et perd sa charge virale (il redevient non virulifère) après quelques brèves piqûres d'essais sur une plante saine (Nault, 1997). Toute pratique permettant aux pucerons de perdre leur charge virale avant de se poser sur la culture permet donc potentiellement de réduire le risque d'épidémie virale.

Dans plusieurs pays européens (Royaume-Uni, Suisse, Allemagne, Autriche, Finlande), l'implantation de bandes fleuries constitue une mesure agri-environnementale visant à endiguer la perte de biodiversité observée dans les zones d'agriculture intensive (Haaland *et al.*, 2011). L'objectif principal de ces bandes fleuries est souvent la préservation d'espèces d'insectes mais deux autres objectifs sont mis en avant pour l'établissement de ces bandes fleuries : favoriser les pollinisateurs et contribuer au contrôle biologique des bio-agresseurs en favorisant les ennemis naturels (parasitoïdes et ravageurs) (Pfiffner et Wyss, 2004 ; Pfiffner *et al.*, 2009). Par ailleurs, l'intérêt potentiel des bandes de plantes non hôtes pour protéger les cultures des virus transmis selon le mode non persistant a également été montré (Ferreles, 2000 ; Hooks et Ferreles, 2006). Plusieurs mécanismes pourraient être mis en jeu : « barrière physique » réduisant le nombre de pucerons ailés atteignant la culture, « filtre à virus » permettant de réduire la charge virale des pucerons avant qu'ils n'atteignent la culture, « leurre » détournant les pucerons de leur culture ou « réservoir à ennemis naturels ».

Ainsi, la bibliographie suggère que la manipulation de l'environnement parcellaire, notamment l'implantation de bandes fleuries, peut être une stratégie pour réguler les populations de pucerons et leur potentiel virulifère, et ainsi réduire à la fois le risque d'épidémies virales et le risque d'apparition d'individus contournants (i.e. capables de se développer sur melons possédant le gène *Vat*). Cette hypothèse a été testée *in situ* dans le cadre d'un projet multidisciplinaire mené entre 2011 et 2014.

1. Conception du mélange d'espèces composant les bandes fleuries

L'objectif des bandes fleuries étant de favoriser le développement de l'entomofaune auxiliaire et particulièrement les insectes prédateurs et parasitoïdes de pucerons, tout en évitant de créer un

réservoir à virus et/ou à pucerons à proximité de la culture, les espèces végétales candidates devaient satisfaire plusieurs conditions biologiques et techniques :

- des espèces annuelles permettant d'obtenir une floraison contemporaine de la culture du melon (juin-juillet),
- des espèces présentes dans la flore naturelle du Vaucluse,
- un approvisionnement en semences facile,
- des espèces non hôtes pour les pucerons du melon,
- des espèces non hôtes pour les virus infectant les cultures françaises de melon.

Dans un premier temps, onze espèces végétales issues d'une étude bibliographique approfondie et remplissant les trois premières conditions ont été présélectionnées : bleuet, bourrache, compagnon blanc, chrysanthème des moissons, gesse, marjolaine, nigelle, phacélie, pimprenelle, sainfoin et sarrasin. Dans un deuxième temps, des tests en conditions contrôlées évaluant l'acceptation d'hôte et le potentiel biotique de deux espèces aphidiennes se développant sur melon et/ou vectrices efficaces de phytovirus (*Aphis gossypii* et *Myzus persicae*) ainsi que la virulence de quatre virus, le *Cucurbit aphid-borne yellows virus* (CABYV), le *Cucumber mosaic virus* (CMV), le *Watermelon mosaic virus* (WMV) et le *Zucchini yellow mosaic virus* (ZYMV), ont permis de sélectionner cinq espèces végétales minimisant les risques : bleuet, gesse, marjolaine, pimprenelle et sainfoin (Tableau 1). Dans un troisième temps, les proportions relatives des espèces dans le mélange ont été définies grâce à l'expertise du grainetier contacté pour l'approvisionnement en semences (Ets Girerd, 84).

Tableau 1 : Tests en conditions contrôlées de 11 espèces végétales candidates : acceptation d'hôte et potentiel biotique des pucerons *Aphis gossypii* (Ag) et *Myzus persicae* (Mp) ; transmission par *Aphis gossypii* du virus persistant de la jaunisse des cucurbitacées (CABYV) et transmission mécanique des virus non persistants de la mosaïque du concombre (CMV), de la mosaïque de la pastèque (WMV) et de la mosaïque jaune de la courgette (ZYMV). Une croix signifie que l'espèce végétale candidate est hôte vis-à-vis du puceron ou du virus testé.

Espèces végétales candidates	Pucerons		Virus			
	Ag	Mp	CABYV	CMV	WMV	ZYMV
Bleuet <i>Centaurea cyanus</i>				×		
Bourrache <i>Borago officinalis</i>	×	×		×		
Chrysanthème des moissons <i>Chrysanthemum segetum</i>				×		
Compagnon blanc <i>Silene latifolia</i>				×		
Gesse <i>Lathyrus sativus</i>						
Marjolaine <i>Origanum majorana</i>				×		
Nigelle <i>Nigella sativa</i>				×	×	×
Phacélie <i>Phacelia tanacetifolia</i>	×	×	×	×	×	
Pimprenelle <i>Sanguisorba minor</i>						
Sainfoin <i>Onobrychis viciifolia</i>						
Sarrasin <i>Fagopyrum esculentum</i>				×	×	

2. Evaluation de l'efficacité des différents aménagements parcellaires

2.1 Dispositif expérimental

L'essai a été mené pendant 4 ans (2011-2014) sur une parcelle du domaine expérimental INRA de St Paul à Montfavet (Vaucluse). Les facteurs expérimentaux sont :

- le type d'aménagement de l'environnement de la culture : bandes fleuries (BF) et sol nu (SN) ;
- le niveau de résistance des melons à *Aphis gossypii* : melons résistants possédant le gène *Vat* (R) et melons sensibles dépourvus du gène *Vat* (S).

Deux bandes (Nord et Sud) sont mises en place pour chaque modalité d'aménagement parcellaire, de part et d'autre des melons (Figure 1). La modalité BF est semée fin mars, environ deux mois avant la date prévue de plantation des melons (fin mai) et irriguées grâce à des sprinklers.

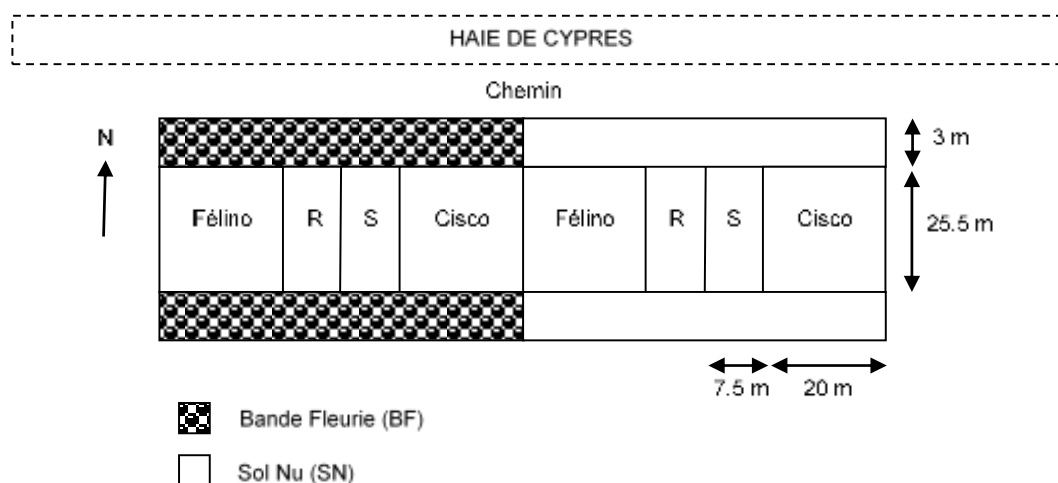


Figure 1 : Dispositif expérimental de l'essai implanté sur le domaine expérimental INRA de St Paul à Montfavet entre 2011 et 2014. R et S sont des lignées quasi-isogéniques pour *Vat* ; Féline et Cisco sont des variétés commerciales utilisées dans les zones tampons.

Les modalités R et S sont constituées de 16 rangs (inter-rang de 1.5 m) de 15 melons (espace inter-plante de 50 cm) plantés parallèlement à la haie de cyprès. Elles sont séparées par des zones tampons afin d'éviter les interactions entre les effets des aménagements parcellaires. Ces zones tampons sont constituées de 16 rangs (inter-rang de 1.5 m) de 20 plantes (espace inter-plante de 1 m) de melons de variétés commerciales ayant le même niveau de résistance à *Aphis gossypii* que les modalités expérimentales à côté desquelles elles sont implantées (Féline possédant *Vat* et Cisco dépourvue de *Vat*). De plus, ces deux variétés commerciales sont tolérantes à l'oïdium. Les melons sont irrigués grâce à un système de goutte à goutte. Aucun insecticide n'est appliqué pendant la culture.

Les stades phénologiques des espèces végétales composant les bandes fleuries ont été notés 7 à 9 fois entre le semis des bandes fleuries et la récolte des melons. Les observations ont confirmé que le mélange d'espèces testé permet d'engendrer un couvert végétal dense assurant, d'une part, une couverture du sol proche de 100% à la plantation des melons et, d'autre part, des floraisons échelonnées pendant toute la durée de la culture (Figure 2). En effet, la floraison de la gesse débute précocement vers mi-mai et est abondante jusque fin juin. Celle du bleuet débute fin mai, peu avant la plantation des melons, et se poursuit jusqu'à fin juillet. La pimprenelle et le sainfoin fleurissent entre mi-juin et fin juillet. Enfin, la marjolaine fleurit tardivement vers mi-juillet.

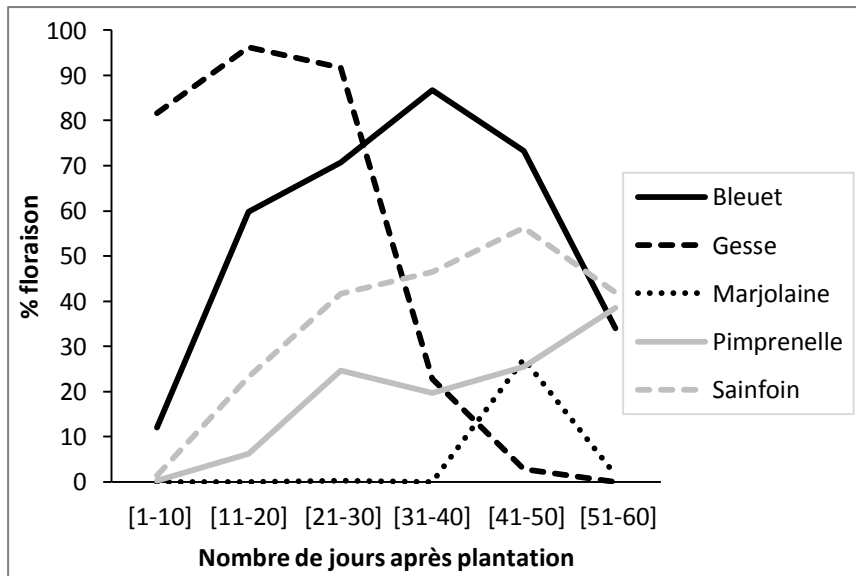


Figure 2 : Evolution au cours de temps du pourcentage moyen de floraison des cinq espèces végétales composant les bandes fleuries (nombre d'individus présentant au moins une fleur divisé par le nombre d'individus observés).

2.2 Efficacité pour le développement de l'entomofaune auxiliaire

L'entomofaune a été échantillonnée avec un aspirateur thermique (modèle 441, marque Solo) au niveau 1) des bandes fleuries, 2) du chemin bordant la parcelle (enherbement spontané) et 3) des melons cultivés en face des différents aménagements, pendant trois ans à partir de 2012. Pour chaque aspiration, l'embout collecteur garni d'un pochon en organza est placé cinq fois dans la végétation de sorte que tout le volume de la canopée soit aspiré (environ 10 cm dans la culture de melon, jusqu'à 50 cm dans la bande fleurie). Une zone de feuillage dense pour le melon et une zone dense et représentative du peuplement végétal de la bande fleurie sont choisies. Chaque aspiration dure au total 5 secondes. Quatre aspirations ont été réalisées par aménagement, à plusieurs reprises au cours de la culture (jusqu'à sept dates en 2013).

Les insectes capturés sont identifiés sous loupe binoculaire jusqu'à un niveau taxonomique permettant de déterminer leur régime alimentaire. Six groupes fonctionnels sont distingués (Tableau 2). Les auxiliaires parasitoïdes spécifiques des pucerons sont principalement des micro-hyménoptères dont les larves se développent dans les pucerons parasités. Les prédateurs spécifiques regroupent tous les stades (larves et adultes) des taxons dont l'alimentation repose quasi-exclusivement sur les pucerons. Les prédateurs généralistes sont d'autres prédateurs, au régime carnivore moins spécifique pouvant participer à la régulation des pucerons, qui ne constituent cependant pas les proies préférentielles de ce groupe fonctionnel. Les phytophages peuvent être plus ou moins problématiques pour les cultures. Les neutres sont essentiellement représentés par les diptères, très difficiles à identifier. Ce taxon comporte des régimes alimentaires variés : détritivores, phytophages, parasitoïdes. Le ratio du nombre total d'auxiliaires (parasitoïdes et prédateurs) divisé par le nombre total de phytophages est calculé afin de comparer les potentiels régulateurs des différents couverts végétaux.

Les bandes fleuries hébergent une entomofaune plus importante que l'enherbement spontané du chemin : en moyenne, 152 individus ont été échantillonnés par aspiration dans la bande fleurie contre 58 pour l'enherbement spontané (Figure 3). Les populations d'auxiliaires (prédateurs et parasitoïdes) se révèlent supérieures dans la bande fleurie (53 individus par aspiration en moyenne) par rapport à l'enherbement spontané (9 individus par aspiration en moyenne) avec un ratio auxiliaires/phytophages supérieur dans la bande fleurie (0,85), comparée à l'enherbement spontané (0,39). Concernant les auxiliaires spécifiques des pucerons, 11 individus ont été échantillonnés en moyenne par aspiration dans la bande fleurie (soit 21% du total des auxiliaires) et 1 individu a été échantillonné en moyenne (13% du total des auxiliaires) dans l'enherbement spontané. Pour ces quatre variables, les différences

sont significatives entre les échantillons de la bande fleurie et du chemin ($p < 0,0001$, tests non paramétriques de Mann-Whitney). La bande fleurie a donc bien favorisé la présence d'auxiliaires utiles à la régulation des pucerons.

Tableau 2 : Principaux taxons identifiés pour chacun des six groupes fonctionnels caractérisant l'entomofaune échantillonnée au niveau des aménagements et des cultures de melons (liste non exhaustive)

Groupe fonctionnel	Ordre (sous-ordre)	Famille (Genre)	
1 Auxiliaires parasitoïdes spécifiques des pucerons	Hyménoptères	Aphélinidés (<i>Aphelinus</i>) Braconidés (<i>Aphidius</i> , <i>Diaeretiella</i> , <i>Ephedrus</i> , <i>Lysiphlebus</i> , <i>Praon</i>)	
2 Auxiliaires parasitoïdes d'autres arthropodes	Hyménoptères	Autres	
3 Auxiliaires prédateurs spécifiques des pucerons	Coléoptères	Coccinellidés*	
	Diptères	Syrphidés	
	Neuroptères	Chrysopidés Hémérobiidés	
4 Auxiliaires prédateurs généralistes pouvant participer à la régulation des pucerons	Arachnides		
	Coléoptères	Carabidés Staphylinidés	
	Dermaptères		
	Hémiptères	Miridés Nabidés Anthocoridés	
	Thysanoptères	Aeolothripidés	
5 Phytophages	Coléoptères	Chrysomélidés	
	Hémiptères	Punaises phytophages	
	Homoptères	Aleurodes Cicadelles Psylles Pucerons	
		Thysanoptères	Thripidés
6 Neutres	Coléoptères	Autres	
	Diptères	Autres	
	Psocoptères		

*Excepté *Psyllobora vigintiduopunctata*, coccinelle exclusivement mycophage

L'entomofaune présente dans la culture est beaucoup plus faible que dans le chemin ou dans les bandes fleuries : en moyenne, 29 individus ont été échantillonnés par aspiration dans la culture de melons côté bande fleurie et 22 dans la culture de melons côté sol nu. Les auxiliaires (prédateurs et parasitoïdes) sont légèrement supérieurs dans la culture côté bande fleurie (11 individus par aspiration en moyenne) par rapport à la culture côté sol nu (8 individus par aspiration en moyenne). Le ratio auxiliaires/phytophages est en moyenne de 0.93 dans la culture côté bande fleurie et de 1.11 dans la culture côté sol nu, ce qui indique un bon potentiel régulateur au sein de la culture pour les deux types d'aménagement. Concernant les auxiliaires spécifiques des pucerons, 2 individus ont été échantillonnés en moyenne dans la culture côté bande fleurie (soit 19% du total des auxiliaires) et 1 individu a été échantillonné en moyenne (13% du total des auxiliaires) dans la culture côté sol nu. Les melons résistants ou sensibles hébergent donc une entomofaune légèrement supérieure lorsque la culture est bordée de bandes fleuries mais les différences observées pour les quatre variables analysées ne sont pas significatives (tests non paramétriques de Kruskal-Wallis).

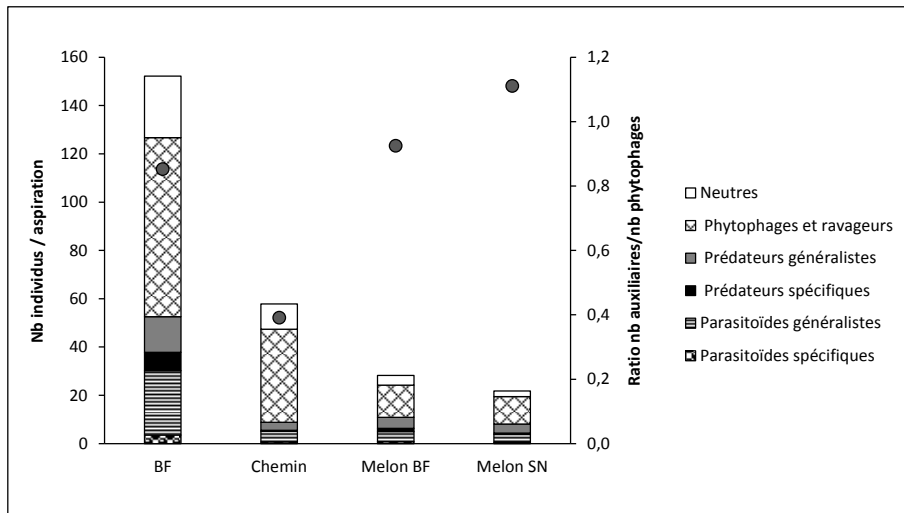


Figure 3 : Nombre moyen d'individus capturés par aspiration au sein des bandes fleuries, du chemin bordant la parcelle (enherbement spontané) et des melons cultivés en face des différents aménagements. Les données melons sensibles/résistants ont été regroupées en l'absence d'effet significatif du facteur Résistance. Le ratio auxiliaires (parasitoïdes et prédateurs)/phytophages (ronds noirs) indique le potentiel régulateur des différents couverts végétaux.

La diversité taxonomique présente au sein des bandes fleuries et des cultures de melons est détaillée pour l'année 2013, où l'entomofaune a été particulièrement abondante (Figure 4).

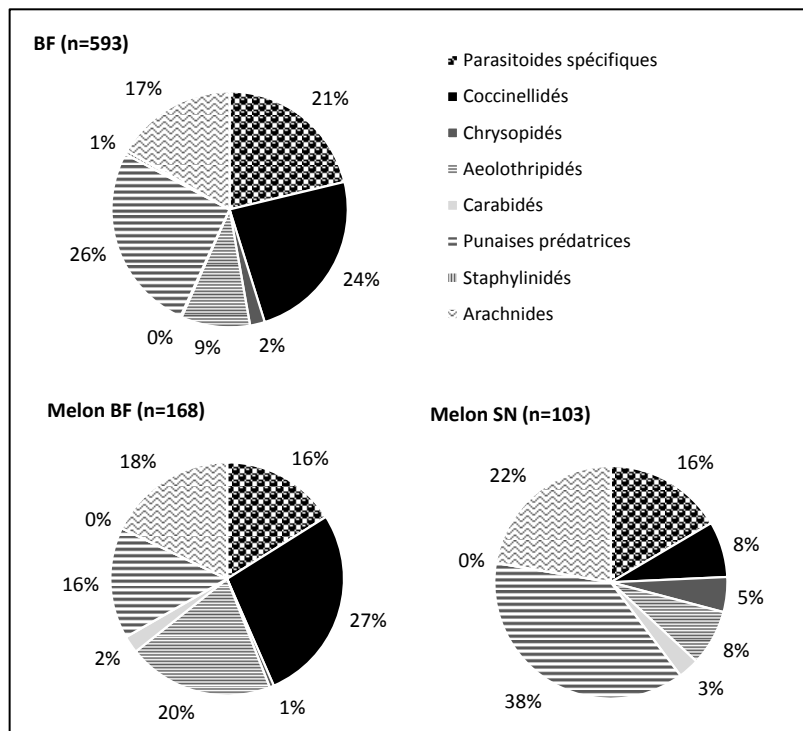


Figure 4 : Répartition taxonomique des auxiliaires capturés par aspiration au sein des bandes fleuries et des cultures de melon côté bande fleurie (BF) et sol nu (SN) en 2013.

Dans les bandes fleuries, les auxiliaires spécifiques des pucerons représentent 47% des auxiliaires échantillonnés : les Coccinellidés (24%) sont les prédateurs les plus fréquents et les parasitoïdes de pucerons représentent 21% des individus capturés. Dans les melons, les auxiliaires généralistes et spécifiques des pucerons sont significativement plus nombreux quand la culture est entourée de bandes fleuries que de sol nu (tests de Newman-Keuls au seuil de 5%). La part des Coccinellidés et des Aeolothripidés (Thysanoptères prédateurs) est plus importante dans la culture entourée de bandes

fleuries (respectivement 27% et 20%) que dans la culture entourée de sol nu (8% pour les deux familles). A l'inverse, le sol nu semble avoir favorisé les punaises prédatrices (38% contre 16%).

2.3 Efficacité pour le contrôle des populations d'*Aphis gossypii*

Les populations d'*Aphis gossypii* ont été suivies au cours des quatre années d'expérimentation sur les melons R et S. Le niveau de colonisation a été estimé 4 à 5 fois au cours de la culture, en utilisant une échelle ordinale à 5 classes (Boll *et al.*, 2002) sur 16 placettes de 1m² par traitement expérimental, soit environ 8% de chaque unité expérimentale. Dix feuilles ont été observées par placette et notées de 0 (pas de puceron vu) à 4 (feuilles crispées avec très larges colonies).

La moyenne des classes par placette a été calculée à chaque date pour obtenir une aire sous la courbe pour l'ensemble des dates, aire considérée comme un index de densité (Figure 5). Cet index a été soumis à une ANOVA avec les facteurs Année (4 niveaux), Aménagement parcellaire (3 niveaux) et Résistance (2 niveaux). Le modèle explique 53% de la variation et l'ANOVA met en évidence un effet significatif des facteurs Année et Résistance ($p < 0,0001$), la présence du gène *Vat* réduisant les densités de pucerons. L'effet du facteur Aménagement n'est pas significatif.

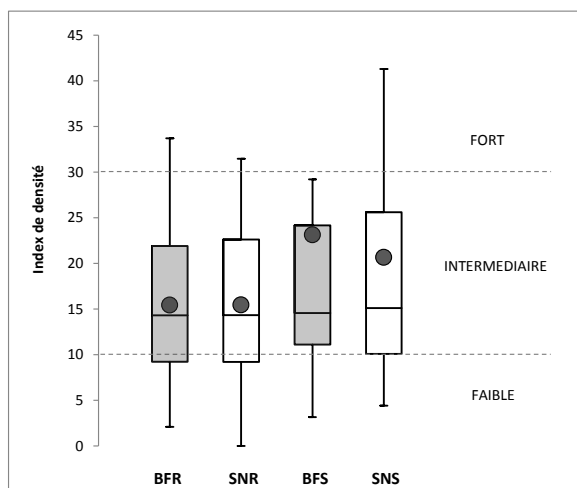


Figure 5 : Distribution des index de densité de pucerons *Aphis gossypii* estimés pour deux types d'aménagement des bordures (BF=bandes fleuries ; SN=sol nu) et deux niveaux de résistance (R=melons résistants ; S=melons sensibles). Les ronds à l'intérieur des boxplots représentent les valeurs moyennes (n=64).

La note maximum atteinte dans chaque placette au cours de la culture a été considérée comme une variable reflétant la capacité d'une placette à produire des formes dispersantes, c'est-à-dire des pucerons ailés. En effet, au cours d'une culture, les pucerons ailés venus de l'extérieur visitent les parcelles et déposent des larves qui seront à l'origine des populations aptères qui se développent sur la culture. Lorsque ces populations atteignent une forte densité, correspondant à une note de 3 ou 4, des morphes ailés se forment, ce sont les individus dispersants. La proportion de placettes dispersantes a été calculée pour chaque combinaison Résistance x Aménagement (Figure 6). On observe significativement moins de placettes dispersantes sur melon résistant que sur melon sensible ($p < 0,0001$), mais il n'y a pas de différences entre les aménagements.

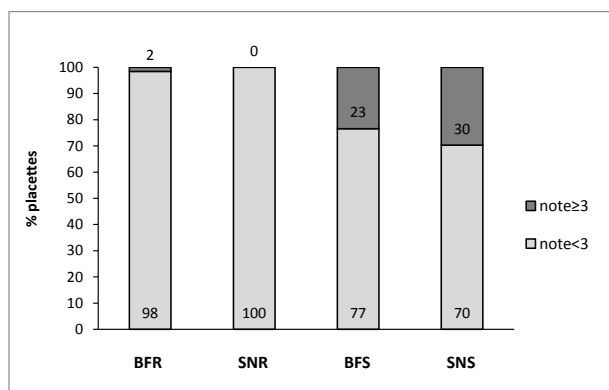


Figure 6 : Proportion de placettes produisant des pucerons *Aphis gossypii* ailés dispersants (note ≥ 3) pour deux types d'aménagement des bordures (BF=bandes fleuries ; SN=sol nu) et deux niveaux de résistance (R=melons résistants ; S=melons sensibles) ; 64 placettes de 1 m² ont été suivies par traitement expérimental.

2.4 Efficacité pour le contrôle des épidémies virales

Le développement des épidémies de quatre virus fréquemment rencontrés dans les cultures de melon en France, le CMV, le WMV et le ZYMV transmis par les pucerons selon le mode non persistant et le CABYV transmis par les pucerons selon le mode persistant, a été suivi au cours des quatre années d'expérimentation. Chaque semaine à partir de la plantation, un échantillon de 40 plantes par type d'aménagement et par niveau de résistance est soumis à un test sérologique DAS-ELISA pour détecter la présence des virus. Les variables binaires (présence/absence du virus testé dans l'échantillon) sont transformées en taux d'infection (ratio du nombre de plantes infectées sur le nombre de plantes échantillonnées) permettant d'établir les dynamiques virales. Les effets des facteurs Aménagement et Résistance sur la probabilité d'infection d'une plante par un virus donné sont calculés par un modèle linéaire généralisé (proc GENMOD de SAS avec distribution binomiale et fonction de lien logit). Les épidémies virales ont présenté une grande variabilité interannuelle tant en termes de précocité que de vitesse de développement. Le ZYMV ayant été très peu fréquent au cours de nos expérimentations, l'analyse statistique a porté uniquement sur les trois autres virus (Tableau 3).

La probabilité d'infection par le CABYV a été significativement réduite pour les melons résistants par rapport aux melons sensibles ; chaque année, la vitesse de propagation de l'épidémie a été ralentie pour les melons résistants par rapport aux melons sensibles (Figure 7). Par contre, l'effet du facteur Aménagement n'a pas été significatif pour ce virus. Pour le CMV, les effets des facteurs n'ont été significatifs que pour certaines années. En 2011 et 2013, la vitesse de propagation de l'épidémie a été ralentie pour les melons résistants par rapport aux melons sensibles mais l'aménagement de type bandes fleuries a augmenté significativement la probabilité d'infection par ce virus (Figure 7). En ce qui concerne le WMV, le facteur Résistance n'a pas eu d'effet significatif sur la probabilité d'infection. Par contre, les bandes fleuries ont permis, en 2012 et 2014, une réduction significative de la probabilité d'infection (Figure 7).

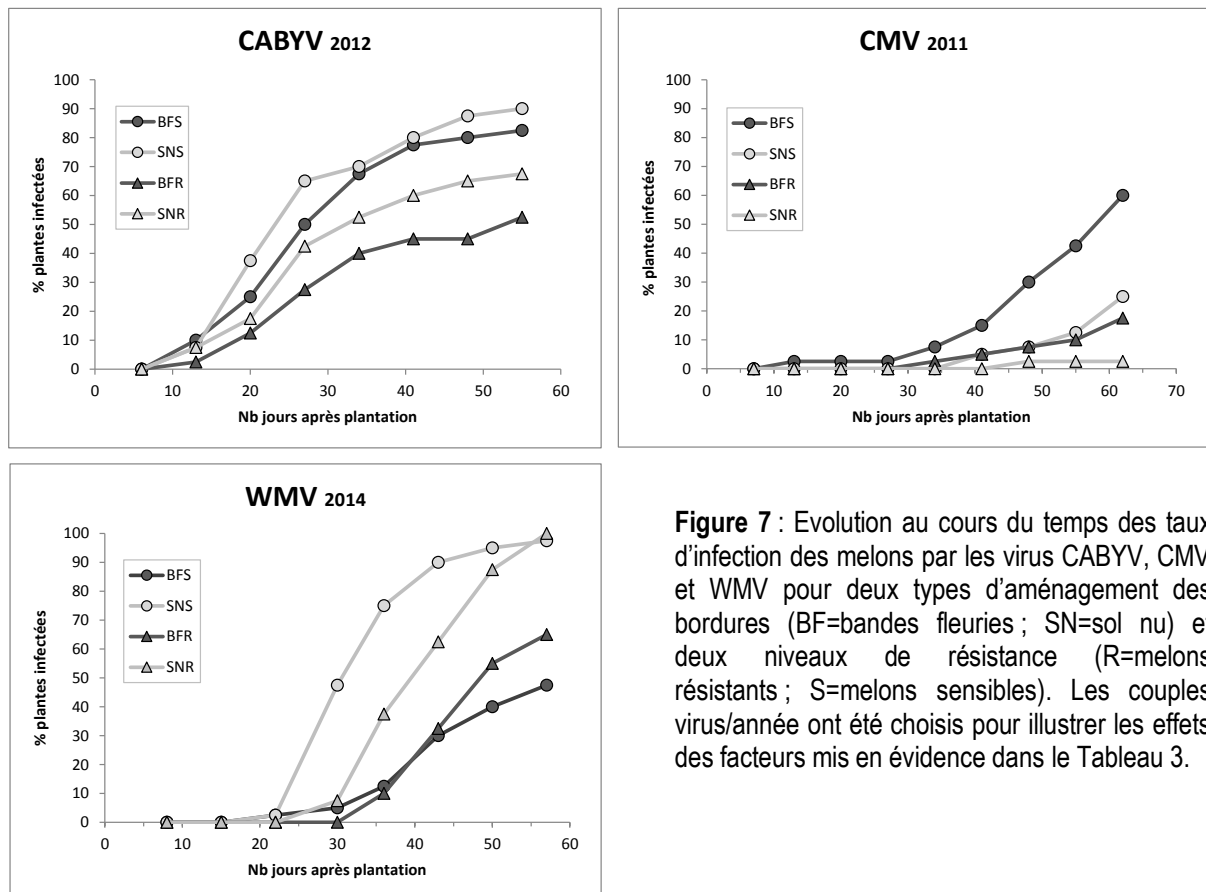


Figure 7 : Evolution au cours du temps des taux d'infection des melons par les virus CABYV, CMV et WMV pour deux types d'aménagement des bordures (BF=bandes fleuries ; SN=sol nu) et deux niveaux de résistance (R=melons résistants ; S=melons sensibles). Les couples virus/année ont été choisis pour illustrer les effets des facteurs mis en évidence dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Effet du type d'aménagement des bordures (BF=bandes fleuries ; SN=sol nu) et du niveau de résistance (R=melons résistants ; S=melons sensibles) sur la probabilité d'infection d'une plante en fonction du virus et de l'année. Les effets non significatifs sont codifiés ns. Les effets significatifs (valeur-p entre parenthèses) sont indiqués en gras. Le symbole ✓ indique les couples virus/année choisis pour illustrer l'effet des facteurs.

Virus	Facteur	Année			
		2011	2012	2013	2014
CABYV	Aménagement	ns	ns	ns	ns
	Résistance	R<S (0.0652)	R<S (0.0001) ✓	R<S (0.0001)	R<S (<0.0001)
CMV	Aménagement	BF>SN (0.0013) ✓	ns	BF>SN (0.0066)	ns
	Résistance	R<S (0.0004)	ns	R<S (0.0182)	ns
WMV	Aménagement	ns	BF<SN (<0.0001)	ns	BF<SN (<0.0001) ✓
	Résistance	ns	ns	ns	ns

Conclusion

Les bandes fleuries composées de bleuet, gesse, marjolaine, pimprenelle et sainfoin, ont favorisé l'installation d'une importante entomofaune en assurant le gîte et le couvert. En moyenne, elles ont hébergé 2,6 fois plus d'insectes et d'araignées et 10 fois plus d'auxiliaires spécifiques des pucerons qu'un enherbement spontané. Les stades floricoles (comme les adultes de chrysopes et de parasitoïdes) ont pu y trouver pollen, nectar floral, nectar extrafloral (Fabacées). Les stades prédateurs (Coccinellidés notamment) ont pu y trouver des proies de substitution (le bleuet héberge un puceron spécifique *Uroleucon jaceae* qui peut être prédaté/parasité par de nombreux auxiliaires). L'entomofaune est réduite dans les cultures adjacentes mais les auxiliaires spécifiques des pucerons, notamment les Coccinellidés, ont été plus fréquents sur les melons côté bandes fleuries que sur les melons côté sol nu.

En termes d'efficacité, la présence du gène *Vat* permet de réduire la colonisation par *Aphis gossypii* mais également le développement de certains virus. Pour le CABYV et le CMV, l'initiation des épidémies est parfois retardée de 1 à 2 semaines et la vitesse de propagation est ralentie en présence du gène *Vat*, ce qui confirme le rôle d'*Aphis gossypii* dans la transmission de ces deux virus (majeur pour le CABYV et partiel pour le CMV). Pour le WMV, le fait que les melons résistants soient autant infectés que les melons sensibles suggère qu'*Aphis gossypii* n'a pas été un vecteur important de ce virus dans nos conditions expérimentales.

La présence de bandes fleuries autour des melons ne modifie pas l'intensité des infestations par *Aphis gossypii*. En fait, l'entomofaune est drastiquement réduite dans la culture et à un niveau équivalent quel que soit le type d'aménagement. Par contre la présence de bandes fleuries peut modifier les dynamiques virales. Pour le WMV, les bandes fleuries peuvent réduire significativement le développement épidémique certaines années, en favorisant la décharge virale ou en perturbant le comportement des vecteurs. Pour le CMV, elles peuvent avoir un effet aggravant. Le CMV est un virus extrêmement polyphage, les espèces végétales non hôtes sont peu nombreuses. Il peut ainsi être transmis mécaniquement au bleuet en conditions contrôlées (Tableau 1). Considérant ce risque potentiel, des bleuets ont été échantillonnés chaque année afin de rechercher la présence du CMV par DAS-ELISA et ainsi d'évaluer le risque réellement encouru en associant le bleuet aux bandes fleuries.

Le taux d'infection obtenu (1/40) ne permet pas d'exclure ce risque mais laisse à penser qu'il est limité. L'implication d'*Uroleucon jaceae* dans la vécution du CMV devra également être étudiée afin d'exclure définitivement ce risque. Par ailleurs, l'entomofaune auxiliaire a peut-être joué un rôle dispersant vis-à-

vis des *Aphis gossypii* impliqués dans la transmission du CMV. Des résultats obtenus en conditions contrôlées suggèrent en effet que certains parasitoïdes peuvent augmenter la dispersion des virus non persistants en perturbant le comportement des pucerons colonisateurs (Hodge *et al.*, 2011 ; Dader *et al.*, 2012).

En termes de durabilité de la résistance, Thomas *et al.* (soumis) ont mis en évidence qu'une faible production d'individus dispersants était favorable à une plus grande durabilité de la résistance conférée par le gène *Vat*. Les melons résistants produisant peu d'*Aphis gossypii* dispersants, nous devons regarder l'effet des bandes fleuries pour ce caractère sur les melons sensibles. Les melons bordés de bandes fleuries produisent environ 10% moins de dispersants que ceux bordés de sol nu. Cependant cette différence n'est pas significative, soit par manque de puissance soit parce que cet effet est en fait aléatoire. Un effort de comptage dans des essais à venir est nécessaire pour trancher. En effet, même un effet faible pourrait très favorablement augmenter la durabilité de la résistance conférée par le gène *Vat*.

Ce projet qui a fédéré plusieurs équipes et compétences a permis d'obtenir des résultats prometteurs qui doivent être confirmés mais également éprouvés à l'échelle des trois principaux bassins de production de melons (Sud-Est, Sud-Ouest et Centre-Ouest).

Remerciements

Ces travaux ont bénéficié du soutien financier de l'INRA (AAP2010 Gestion durable des résistances aux bioagresseurs) et du Ministère de l'Agriculture (convention n° C-2011-09).

Références bibliographiques

- Boissot N., Thomas S., Sauvion N., Marchal C., Pavis C., Dogimont C., 2010. Mapping and validation of QTLs for resistance to aphids and whiteflies in melon. *Theoretical and Applied Genetics* 121,117-125.
- Boissot N., Thomas S., Mistral P., Chareyron V., 2014. Nouvelles sources de résistance au puceron *Aphis gossypii* chez le melon. *Innovations Agronomiques* 35, 89-95.
- Boll R., Franco E., Geria A.M., Moutin J.B., Rochat J., Lapchin L., 2002. Dénombrement visuel du puceron *Aphis gossypii* Glover en culture de melon en champ. *Phytoma* 548, 47-50.
- Dader B., Moreno A., Vinuela E., Fereres A., 2012. Spatio-temporal dynamics of viruses are differentially affected by parasitoids depending on the mode of transmission. *Viruses* 4, 3069-3089.
- Fereres A., 2000. Barrier crops as a cultural control measure of non-persistently aphid-borne viruses. *Virus Research* 71, 221-231.
- Haaland C., Naisbit R.E., Bersier L.F., 2011. Sown wildflower strips for insect conservation: a review. *Insect Conservation and Diversity* 4, 60-80.
- Hodge S., Hardie J., Powell G., 2011. Parasitoids aid dispersal of a nonpersistently transmitted plant virus by disturbing the aphid vector. *Agricultural and Forest Entomology* 13, 83-88
- Hooks C.R.E., Fereres A., 2006. Protecting crops from non-persistently aphid-transmitted viruses: a review on the use of barrier plants as a management tool. *Virus Research* 120, 1-16.
- Lecoq H., Cohen S., Pitrat M., Labonne G., 1979. Resistance to cucumber mosaic virus transmission by aphids in *Cucumis melo*. *Phytopathology* 69, 1223-1225.
- Nault L.R., 1997. Arthropod transmission of plant viruses: a new synthesis. *Annals of the Entomological Society of America* 90, 521-541.
- Pfiffner L., Wyss E., 2004. Use of sown wildflower strips to enhance natural enemies of agricultural pests. In: G.M. Gurr, S.D. Wratten, M.A. Altieri (eds.), *Ecological engineering for pest management. Advances in habitat manipulation for arthropods*, 167-188. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.

Pfiffner L., Luka H., Schlatter C., Juen A., Traugott M., 2009. Impact of wildflower strips on biological control of cabbage lepidopterans. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129, 310-314.

Pitrat M., Lecoq H., 1982. Relations génétiques entre les résistances par non acceptation et par antibiose du melon à *Aphis gossypii*. Recherche de liaisons avec d'autres gènes. *Agronomie* 2, 503-508.

Thomas S., Mistral P., Loiseau A., Vanlerberghe-Masutti F., Boissot N. Two bottlenecks in the dynamics of adapted clones ensure the durability of the plant resistance to aphids: the poor production of dispersal morphs and the local extinction (soumis)