



RÉSUMÉ

L'influence des abords de parcelle sur la régulation naturelle des populations de *P. rosae* en cultures d'apiacées a été étudiée dans le projet Biodivleg en comparant différentes variables biologiques et agronomiques entre des parcelles bordées par des Infrastructures agroécologiques (IAE) de forte densité et des parcelles sans IAE particulières sur leurs abords. Les résultats obtenus montrent que les staphylins et les araignées consommeraient les œufs de *P. rosae* et les carabidés plutôt les larves et/ou les pupes. Cependant, dans les conditions de production des parcelles échantillonnées, l'action de ces auxiliaires demeure insuffisante pour limiter significativement l'incidence des dégâts à la récolte. La mise en place d'IAE de forte densité favorise les pontes de *P. rosae* dans les cultures sans amplifier en parallèle les processus de régulation naturelle.

FUNCTIONAL BIODIVERSITY IN VEGETABLE CROPS : NATURAL CONTROL OF THE CARROT FLY *PSILA ROSAE*

The influence of field borders on the natural control of *P. rosae* populations was studied within the framework of the Biodivleg project by comparing different biological and agronomic variables between Apiaceae plots surrounded by high density agroecological areas and those without. The results show that rove beetles and spiders feed on *P. rosae* eggs and ground beetles prefer larvae and/or pupae. However, in the conditions of the sampled plots, the action of these beneficials remains inadequate to significantly limit damage at harvest. The establishment of high density agroecological areas favours *P. rosae* egg-laying in crops without amplifying the process of natural control.

Avec la collaboration de : L. Fouyer (Ctifl), V. Demoisson (Ctifl), S. Docquois (Ctifl), D. Bouvard (ACPEL), T. Massias (CA 17), L. Bonnot (CA 45), M. Sandrone (UNILET), R. Boucherie (UNILET), M. Legrand (UNILET), B. Lepaumier (SILEBAN), E. Vigot (SILEBAN), J. Lambion (GRAB), A.M. Cortesero (université de Rennes I – UMR IGEPP), A. Le Ralec (Agrocampus Ouest – UMR IGEPP) et Y. Cozic (INRA – UMR IGEPP)

BIODIVERSITÉ FONCTIONNELLE EN CULTURES LÉGUMIÈRES

RÉGULATION NATURELLE DE LA MOUCHE DE LA CAROTTE *PSILA ROSAE*

Certaines espèces d'arthropodes exercent, en conditions réelles de production, une action de prédation et/ou de parasitisme vis-à-vis de la mouche P. rosae. Cette action demeure toutefois insuffisante pour garantir un rendement commercial satisfaisant et la mise en place d'infrastructures agroécologiques particulières en bordure de parcelle ne suffit probablement pas à elle seule pour amplifier les processus de régulation naturelle dans les cultures.



> PARCELLE DE CAROTTE BORDÉE PAR UNE INFRASTRUCTURE AGROÉCOLOGIQUE DE FORTÉ DENSITÉ (HAIE BOCAGÈRE)



LE PROJET BIODIVLEG, UNE APPROCHE AGROÉCOLOGIQUE DE LA PROTECTION DES CULTURES

PSILA ROSAE, UNE MOUCHE PROBLÉMATIQUE EN CULTURES D'APIACÉES

La mouche de la carotte, *Psila rosae* (anc. *Chamaepsila rosae*) est un diptère de la famille des *Psilidae* s'attaquant aux cultures d'apiacées (carotte, céleri et plus rarement persil). Après une période d'hibernation sous forme de pupes, l'émergence des adultes de *P. rosae* se fait de façon très échelonnée de fin avril à juillet. Peu après l'accouplement, les mouches femelles pondent leurs œufs dans le sol, à proximité des plantes-hôtes. Les larves sortent des œufs après une période embryonnaire de 10 à 12 jours environ, puis cheminent dans le sol pour atteindre la racine des plantes dans lesquelles elles pénètrent et creusent des galeries sinueuses qui rendent le produit final totalement impropre à la consommation. Le développement larvaire dure 1 mois environ, période au bout de laquelle les larves sortent de la racine pour aller se nymphoser dans le sol à proximité des plantes-hôtes (Villeneuve, 2011 ; Collier and Finch., 1996 ; Freuler *et al.*, 1982 ; Brunel *et al.*, 1979). Au total, 2 à 3 générations annuelles peuvent se succéder selon les régions de production : les larves de première génération se développent sur les carottes nouvelles et donnent naissance aux individus de deuxième puis de troisième génération, qui sont très nuisibles et qui peuvent occasionner des dégâts jusqu'en novembre. Les pertes économiques engendrées par les larves de *P. rosae* peuvent être très importantes : un lot de carottes avec plus de 3 % de plantes présentant au moins une galerie de mouche est par exemple impossible à trier et implique des surcoûts inacceptables pour les producteurs. De la même façon, toutes les parcelles de culture dans lesquelles



> MOUCHE DE LA CAROTTE, *PSILA ROSAE*

l'incidence des dégâts (pourcentage de plantes présentant au moins une galerie de mouche dans la racine) est supérieure à 15 % ne sont plus rentables et doivent être abandonnées. La présence de larves dans la racine de carotte ou de céleri peut également ralentir fortement la croissance des plantes, voire donner un goût amer au produit final. Enfin, les galeries creusées par les larves de *P. rosae* constituent des sites de choix pour le développement de parasites secondaires qui provoquent souvent la pourriture des organes touchés.

Le contrôle des populations de *P. rosae* constitue ainsi un enjeu majeur pour de nombreux bassins de production maraîchers et/ou légumiers français. Cependant, dans un contexte de remise en cause de nombreuses substances actives et de contraintes environnementales de plus en plus fortes (révision des anciennes substances actives dans le cadre de la directive 91/414, plan Écophyto 2018), la protection des cultures contre ce ravageur à l'aide des techniques traditionnelles est de plus en plus délicate à mettre en œuvre. De la même façon, les mesures prophylactiques, bien que nécessaires, sont souvent insuffisantes à elles seules pour contrôler efficacement les populations de mouches. L'efficacité des techniques de protection des cultures contre la mouche *P. rosae*, souvent limitée en cas de forte pullulation des ravageurs, pourrait toutefois être améliorée par la mise en place de pratiques complémentaires permettant de maintenir les populations de mouches à des niveaux relativement bas et de

contenir les pics d'infestation. Une des solutions complémentaires possibles à expérimenter est l'implantation en bordure de parcelle d'infrastructures agroécologiques (IAE) favorisant les arthropodes prédateurs et/ou parasitoïdes susceptibles d'exercer une action de régulation naturelle sur les populations de *P. rosae*.

LA LUTTE BIOLOGIQUE PAR CONSERVATION APPLIQUÉE AUX CULTURES D'APIACÉES

L'effet d'IAE de forte densité (haies, lisières de bois) sur le processus de colonisation des cultures d'apiacées par la mouche *P. rosae* ainsi que par ses ennemis naturels potentiels (araignées du sol, staphylins du genre *Aleochara* et plusieurs espèces de carabidés) a été étudié dans le cadre du projet Biodivleg piloté par le Ctifl. Ce projet, qui s'est déroulé sur trois ans (2009-2011), s'est également intéressé aux mouches du genre *Delia* (Picault, 2012). Labellisé par le GIS PicLég, il a reçu le soutien du ministère de l'Agriculture et de la Pêche (AAP Casdar) et a impliqué de nombreux partenaires de la recherche (INRA, université de Rennes I), de l'expérimentation (ACPEL, UNILET, SILEBAN et GRAB pour les travaux concernant la mouche de la carotte ; FREDON Nord – Pas-de-Calais, UNILET et CATE pour ceux concernant les mouches du genre *Delia*) et du développement (chambres d'agriculture du Loiret et de Charente-Maritime pour les travaux concernant la mouche de la carotte ; chambres d'agriculture du Finistère et du Loiret pour ceux concernant les mouches du genre *Delia*). À travers un dispositif expérimental reposant sur la mise en place d'un réseau de parcelles appariées deux à deux et la multiplicité des observations, les travaux menés ont consisté à comparer différentes variables biologiques et agronomiques (densité des pontes de mouches, incidence des dégâts, densité d'activité des populations de staphylins, de carabidés et d'araignées du sol,



structure du parasitisme...) entre des parcelles bordées par des IAE de forte densité (haie bocagère, lisières de bois) et des parcelles sans IAE particulières sur leurs abords (chemin enherbé, friche, chemin de terre battue) considérées comme parcelles « témoin ». Les résultats obtenus ont permis de caractériser les populations de prédateurs et/ou parasitoïdes de *P. rosae* en conditions réelles de production, de mettre en évidence leurs interactions avec les populations de *P. rosae* et de voir comment celles-ci peuvent être influencées par la nature des abords de parcelle.



> PARCELLE « TÉMOIN » (CAROTTES)

UN DISPOSITIF D'ÉTUDE DE GRANDE AMPLEUR

90 PARCELLES ÉCHANTILLONNÉES EN 3 ANS

L'interaction des populations de *P. rosae* avec les populations de carabidés, de staphylins et d'araignées du sol, ainsi que l'influence des abords parcellaires sur les processus de régulation naturelle, ont été étudiées dans le projet Biodivleg via la collecte de données techniques, agronomiques et biologiques dans un grand nombre de parcelles d'apiacées des Bouches-du-Rhône, du Cher, du Loiret et du Finistère (carottes) ainsi que de Charente-Maritime (céleri). Chacune de ces parcelles rassemblées en réseau a été décrite par un ensemble de critères biophysiques (localisation géographique, type de sol, surface, climat, etc.) et cultureaux (espèce cultivée, mode de culture, date de semis ou de plantation, moyens de protection contre les ravageurs, mode de gestion des adventices, type de fertilisation, précédent cultural, etc.). Les abords de chacune d'elles ont également été décrits (nature, densité végétale, composition spécifique, etc.) puis caractérisés par une note de 0 à 10 élaborée à l'aide du logiciel DEXI, la note 0 correspondant à des abords de très faible densité (grande étendue de terre battue par exemple) et la note 10

à des abords de forte densité (lisière de bois ou vieille haie bocagère adjacente à la culture). Dans chacune de ces parcelles, une zone d'observation de 5 x 5 m a été définie à 20 m du bord de la culture en place. Les pontes de *P. rosae* y ont été suivies pendant les périodes d'oviposition (soit pendant une durée de 1 mois après chaque pic de vol) en collectant les œufs une fois par semaine autour du collet de 10 plantes en ce qui concerne les cultures de céleri (prélèvement de sol sur un rayon de 15 à 20 cm autour du pivot racinaire et une profondeur de 2 cm) ou bien à l'intérieur d'un gabarit de 10 x 10 cm placé autour d'un groupe de 5 plantes environ en ce qui concerne les cultures de carottes (prélèvement de sol sur une profondeur de 2 cm). Quand cela a été possible, la structure du parasitisme des larves et/ou des pupes de *P. rosae* a été caractérisée au moment du pic d'infestation (c'est-à-dire au moment où les mouches étaient présentes dans les cultures sous forme de pupes). Pour cela, des carottages de sol ont été effectués autour du collet de 15 plantes choisies au hasard dans la zone d'observation, sur un rayon de 10 cm et une profondeur de 20 cm. Après avoir été extraites du sol, les pupes parasitées ont été disséquées au laboratoire afin de déterminer le ou les parasitoïdes responsable(s) du para-

sitisme. La densité d'activité (nombre total d'individus collectés sur une période donnée) des populations de carabidés, de staphylins et d'araignées du sol a également été suivie dans chaque zone d'observation à l'aide de deux pièges fosse relevés une fois par semaine du semis (ou de la plantation) à la récolte. Lorsque cela a été possible, ces populations ont aussi été suivies sur les abords des cultures. Enfin, l'incidence des galeries de mouches (pourcentage de plantes présentant au moins une galerie de mouche à l'intérieur du pivot racinaire) a été mesurée au moment de la récolte sur un effectif total de 30 plantes en ce qui concerne les cultures de céleri ou de 200 plantes en ce qui concerne celles de carotte. Au total, 90 parcelles d'apiacées ont été suivies en trois ans dans le cadre du projet Biodivleg : 23 dans la Manche (carotte), 22 dans les Bouches-du-Rhône (carotte), 20 dans le Loiret (carotte), 19 en Charente-Maritime (céleri) et 6 dans le Finistère sud (carotte).

ANALYSE DES DONNÉES

Dans un premier temps, la densité d'activité moyenne des populations de carabidés, de staphylins et d'araignées du sol a été calculée (φ_{aux} : nombre moyen d'auxiliaires par piège et par semaine \pm erreur type) et, lorsque cela a été possible, leur



structure spécifique (pourcentage d'individus d'une sous-famille ou d'une espèce donnée par rapport à la population totale) a été caractérisée. En parallèle, la densité moyenne des pontes de *P. rosae* ($\varphi_{\text{œufs}}$: nombre moyen d'œufs pondus par 10 plantes ou par groupe de plantes et par semaine) ainsi que l'incidence des galeries de mouches (I_{galerie} : pourcentage de plantes présentant au moins une galerie de mouche dans le pivot racinaire au moment du pic d'infestation) ont également été calculées.

Dans un second temps, les corrélations entre les différentes variables biologiques et agronomiques suivies dans les cultures ont été analysées à l'aide du test de Spearman au seuil de 5 %. Au total, trois analyses de corrélations ont été effectuées :

– analyse des corrélations entre la densité totale des pontes de *P. rosae* ($\Phi_{\text{œufs}} = \Sigma\varphi_{\text{œufs}}$) et la densité d'activité totale des staphylins, des carabidés et des araignées du sol ($\Phi_{\text{aux.}} = \Sigma\varphi_{\text{aux.}}$) ;

– analyse des corrélations entre la densité d'activité totale des staphylins, des carabidés et des araignées du sol ($\Phi_{\text{aux.}} = \Sigma\varphi_{\text{aux.}}$) et l'incidence des galeries de mouches (I_{galerie}) ;

– analyse des corrélations entre la densité des pontes de *P. rosae* ($\Phi_{\text{œufs}}$) et l'incidence des galeries de mouches (I_{galerie}).

Dans un troisième temps enfin, l'influence des abords de parcelle sur la densité des pontes de *P. rosae*, l'incidence des galeries de mouches et la densité d'activité des populations de carabidés, de staphylins et d'araignées du sol a été évaluée à l'aide du test des signes pour deux échantillons appariés au seuil de 5 %, après avoir apparié les parcelles échantillonnées selon leurs caractéristiques biophysiques et culturelles (recherche du maximum de similitude) et la note DEXI caractérisant la nature de leurs abords parcellaire (recherche du minimum de similitude, figure 1). Des paires de parcelles fortement

contrastées en terme d'abord parcellaire, mais homogènes en terme d'itinéraire technique ont ainsi été constituées et soumises à l'analyse. Cette méthode, inspirée en partie par les travaux de Pffnner et Luka (2003) permet, d'une part, d'éliminer un maximum de sources de variation non reliées au facteur étudié et, d'autre part, d'augmenter la précision des résultats en démultipliant le nombre d'observations dans l'espace et dans le temps (Scherrer, 1984).

Enfin, la densité d'activité des populations de carabidés, de staphylins et d'araignées du sol a été comparée, dans toutes les parcelles du réseau où cela a été possible, entre les cultures et leurs abords à l'aide du test de Wilcoxon pour deux échantillons appariés au seuil de 5 %.

STRUCTURE SPÉCIFIQUE DES POPULATIONS DE STAPHYLINS ET DE CARABIDÉS

POPULATIONS DE STAPHYLINS

La structure spécifique des populations de staphylins échantillonnées dans les cultures d'apiacées varie d'une zone de production à l'autre. En revanche, elle n'est pas influencée de manière significative par la nature des abords de parcelle. Dans le Loiret, les staphylins du genre *Aleochara* sont largement majoritaires et représentent en moyenne 68 ± 6 % de la population totale dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité et 52 ± 4 % dans les parcelles « témoin » ($n = 8$). Dans les deux types de parcelle, le genre *Aleochara* est essentiellement constitué d'*A. bilineata*. Les staphylins du genre *Aleochara* sont également bien représentés dans les parcelles de carotte de la Manche, où la proportion moyenne d'*A. bilineata* et d'*A. bipustulata* par rapport à la population totale de staphylins est respectivement de 29 ± 3 % et 17 ± 5 % dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité et de 22 ± 6 % et 14 ± 1 % dans les parcelles « témoin » ($n = 4$). En Cha-

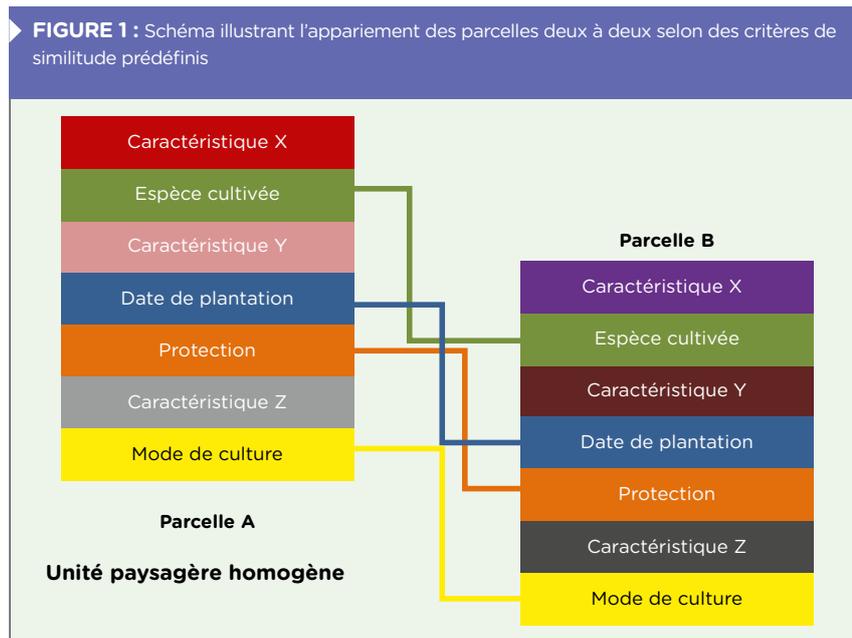


Schéma illustrant l'appariement des parcelles deux à deux selon des critères de similitude prédéfinis (mode de culture, type de protection contre les ravageurs, date de plantation ou espèce cultivée par exemple). La parcelle A est bordée par une haie bocagère adjacente à la culture (note DEXI : 9) et la parcelle B par une surface de terre battue et des bâtiments agricoles (note DEXI : 0).



rente-Maritime et dans le Finistère sud en revanche, la proportion de staphylin du genre *Aleochara* ne dépasse pas 25 %. En Charente-Maritime, le genre *Aleochara* est essentiellement constitué d'*A. bilineata* (19 ± 7 % de la population totale dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité et 17 ± 6 % dans les parcelles « témoin » ; n = 7) tandis que c'est *A. bipustulata* qui domine dans le Finistère sud (9 ± 2 % de la population totale dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité et 12 ± 6 % dans les parcelles « témoin » ; n = 3). Enfin, aucun staphylin du genre *Aleochara* n'a été retrouvé dans les cultures de carotte des Bouches-du-Rhône, sans doute pour des raisons techniques liées à l'identification des individus collectés.

POPULATIONS DE CARABIDÉS

La structure spécifique des populations de carabidés suivies dans les parcelles d'apiacées du réseau Biodivleg varie d'une région et d'une année à l'autre.

Charente-Maritime et Finistère sud

Dans les cultures de céleri de Charente-Maritime, tout comme dans celles de carotte du Finistère sud, la plupart des carabidés collectés appartiennent à la sous-famille des *Pterostichinae* (55 % et 60 % de la population totale dans les parcelles de Charente-Maritime suivies en 2010 et 2011 respectivement ; 73 % et 50 % de la population totale dans les parcelles du Finistère sud suivies en 2010 et 2011 respectivement), à celle des *Harpalinae* (37 % et 11 % de la population totale dans les parcelles de Charente-Maritime suivies en 2010 et 2011 respectivement ; 9 % et 23 % de la population totale dans les parcelles du Finistère sud suivies en 2010 et 2011 respectivement) et en moindre mesure à celle des *Trechinae* (2 % et 8 % de la population totale dans les parcelles de Charente-Maritime suivies en 2010 et 2011 respectivement ; 13 % et 14 % de la population totale dans les parcelles du Finistère sud suivies en 2010 et 2011 res-

pectivement). Dans les deux régions de production, la sous-famille des *Pterostichinae* est essentiellement représentée par deux espèces (*Pterostichus melanarius* et *Poecilus cupreus*), celle des *Harpalinae* par une espèce (*Pseudoophonus rufipes*) et celle des *Trechinae* par trois espèces (*Metallina lampros*, *M. properans* et *Bembidion quadrimaculatum*).

D'une façon générale, la structure spécifique des populations de carabidés suivies en Charente-Maritime et dans le Finistère sud est similaire d'une parcelle à l'autre, quelle que soit la nature des abords de culture. Néanmoins, la proportion de *P. cupreus* dans la population totale de carabidés est souvent plus forte dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité que dans celles qui ne le sont pas (37 % vs 12 % dans les parcelles de Charente-Maritime suivies en 2010 ; 15 % vs 1 % et 38 % vs 17 % dans les parcelles du Finistère sud suivies en 2010 et 2011 respectivement) tout comme celle de *P. rufipes* (11 % vs 4 % dans les parcelles de Charente-Maritime suivies en 2011 ; 17 % vs 2 % et 34 % vs 8 % dans les parcelles du Finistère sud suivies en 2010 et 2011 respectivement).

Cher et Loiret

Dans les cultures de carotte du Cher et du Loiret, la structure spécifique des populations de carabidés est assez hétérogène d'une année sur l'autre et d'une parcelle à l'autre. Cette forte variabilité peut être naturelle, mais elle peut aussi s'expliquer par la taille relativement petite des populations de carabidés retrouvés dans cette zone de production (le nombre de carabidés piégés par semaine y est en moyenne plus faible que dans toutes les autres zones de production prospectées dans le cadre du projet Biodivleg). De plus, l'identification des carabidés du Cher et du Loiret a été effectuée par un grand nombre de personnes, ce qui a pu multiplier le risque d'erreur dans le processus de reconnaissance des individus collectés. La plupart des carabidés retrouvés dans



> *BEMBIDIION QUADRIMACULATUM*

les parcelles de carotte suivies en 2010 dans le Cher et le Loiret appartiennent à la sous-famille des *Platyninae* (*Anchomenus dorsalis*), à celle des *Carabinae* (*Macrothorax morbillosus* et *Carabus arvensis*) ainsi qu'à celle des *Pterostichinae* (*P. melanarius* et en moindre mesure *P. cupreus*). Dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité, la proportion de *Platyninae* et de *Carabinae* dans la population totale de carabidés est particulièrement forte (35 % et 34 % respectivement). Elle est par contre très faible dans les parcelles bordées par des IAE de très faible densité, dans lesquelles les carabidés de la sous-famille des *Pterostichinae* sont largement dominants (plus de 60 % de la population totale). En 2011, la majorité des carabidés retrouvés dans les cultures de carotte appartiennent à la sous-famille des *Harpalinae* (*Pseudoophonus rufipes* essentiellement) et à celle des *Pterostichinae* (*P. melanarius* et *P. cupreus*). Contrairement à 2010, la proportion de *Platyninae* et de *Carabinae* y est très faible. Là encore, la structure spéci-



fique des populations de carabidés varie selon la nature des abords de parcelles, la proportion d'*Harpalinae* étant particulièrement forte dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité (83 %) alors qu'elle équivaut à celle des *Pterostichinae* dans les parcelles bordées par des infrastructures agroécologiques de très faible densité (respectivement 32 % et 31 %).

Manche

Dans les cultures de carotte de la Manche, la structure spécifique des populations de carabidés est caractérisée par une forte proportion d'individus appartenant à la sous-famille des *Trechinae* (*M. lampros*, *B. quadrimaculatum* et *Trechus quadristriatus*) et par une proportion plus faible d'individus appartenant à la sous-famille des *Harpalinae* (*P. rufipes*). Dans les parcelles bordées par des infrastructures agroécologiques de très faible densité, la sous-famille des *Trechinae* est surreprésentée (97 % de la population totale de carabidés) et elle n'est constituée quasiment que de *M. lampros* (94 % de la sous-famille). La structure spécifique des populations de carabidés est plus équilibrée dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité, dans lesquelles 50 % des individus appartiennent à la sous-famille des *Trechinae* (48 % de *M. lampros*, 30 % de *B. quadrimaculatum* et 22 % de *T. quadristriatus*), 27 % à celle des *Harpalinae* (100 % de *P. rufipes*) et 14 % à celle des *Pterostichinae* (78 % de *P. melanarius*).

Bouches-du-Rhône

Dans les cultures de carotte des Bouches-du-Rhône enfin, la grande majorité des individus appartient à la sous-famille des *Platyninae* (64 % à 96 % de la population), essentiellement représentée par les espèces *Calathus fuscipes* et en moindre mesure *C. erratus*. D'une façon générale, la structure spécifique des populations de carabidés suivies dans les Bouches-du-Rhône est similaire d'une parcelle à l'autre quelle que soit la nature des abords de culture, et varie peu d'une année sur l'autre.

SAISONNALITÉ DES POPULATIONS DE CARABIDÉS

La période d'activité des populations de carabidés retrouvées dans les parcelles d'apiacées suivies en 2009, 2010 et/ou 2011 varie d'une espèce à l'autre ainsi que, mais en moindre mesure, d'une région de production à l'autre (Figure 2). L'espèce *P. cupreus* est ainsi beaucoup plus active au printemps (en Charente-Maritime, dans le Cher et dans le Loiret) et/ou en début d'été (dans le Finistère sud) qu'en automne. Ces résultats sont liés à la biologie de cette espèce qui se reproduit au printemps après une période d'hivernation à l'état adulte : les adultes apparaissent à partir d'avril-mai, se reproduisent, puis disparaissent en juillet-août (Dajoz, 2002). Au contraire, certaines espèces telles que *C. fuscipes* ou *N. brevicollis* retrouvées dans les Bouches-du-Rhône, ont une activité très tardive qui ne démarre qu'à la fin de l'été voire au début de l'automne. Là encore, ces résultats sont liés à la biologie de ces espèces dont les adultes émergent en août et se reproduisent en automne, ce qui se traduit souvent par un pic d'activité en septembre-octobre. Les espèces

Metallina sp. et *P. rufipes* sont, quant à elles, très actives en période estivale (la première plutôt en début d'été et la seconde plutôt en fin d'été) après une période d'activité relativement faible au printemps (en Charente-Maritime, dans le Finistère sud, dans le Cher et dans le Loiret). Enfin, l'espèce *P. melanarius* connaît un à deux pics d'activité : le premier au printemps (en Charente-Maritime, dans le Cher et dans le Loiret) et le second, souvent bien plus marqué, en fin d'été (en Charente-Maritime et dans le Finistère sud). La première période d'activité correspond à la phase d'émergence des adultes au printemps (qui se traduit souvent par un pic d'activité en mai-juin) et la seconde à une phase de reproduction en automne (qui se traduit souvent par un pic d'activité en août-septembre).

INTERACTIONS DES POPULATIONS DE MOUCHES AVEC CELLES DE LEURS ENNEMIS NATURELS

L'analyse des corrélations entre les différentes variables biologiques et agronomiques suivies dans le cadre du projet Biodivleg montre que parmi toutes les espèces d'araignées du sol, de staphylins et de carabidés retrouvées dans les parcelles d'apiacées, certaines interagissent de façon significative avec les populations de *P. rosae*.

DES PRÉDATEURS D'ŒUFS PEU NOMBREUX ?

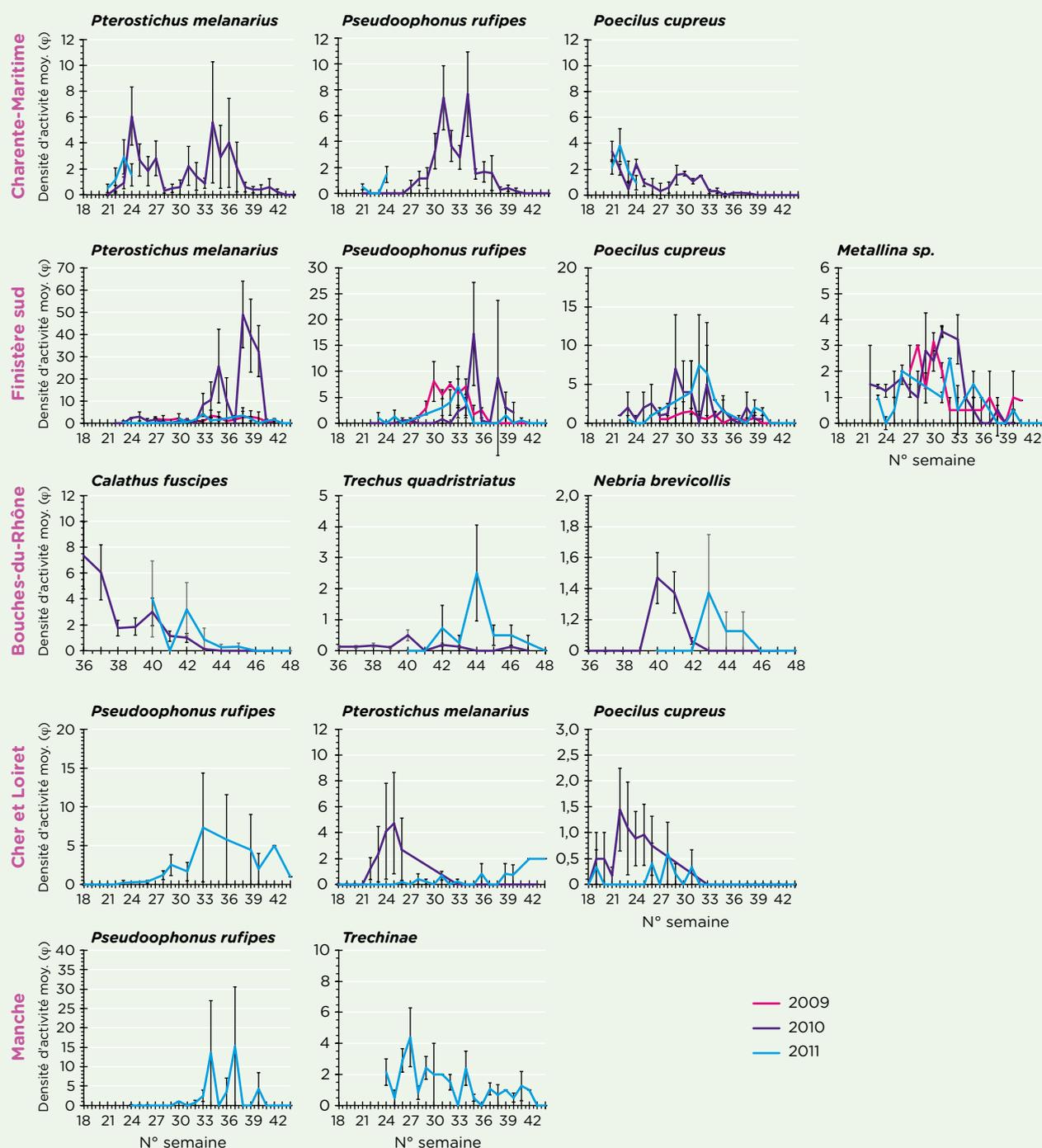
L'activité des araignées du sol est ainsi corrélée négativement avec la densité des pontes de mouches pendant la période d'oviposition ($P < 0,01$), mais pas avec l'incidence des galeries de mouches (Tableau 1 et Figure 3). Ces résultats suggèrent que ces araignées pourraient exercer une action de prédation significative vis-à-vis des œufs de *P. rosae* (le nombre d'œufs pondus par plante diminue lorsque l'activité des araignées du sol augmente et inversement) mais pas vis-à-vis de ses larves et/



> ALEOCHARA BILINEATA



FIGURE 2 : Cinétique des populations de carabidés échantillonnées de 2009, 2010 et/ou 2011 dans les cultures d'apiacées du réseau Biodivleg



Densité d'activité moyenne = nombre moyen d'individus/piège/semaine.



ou de ses pupes. L'activité des staphylinins autres que ceux du genre *Aleochara* est également corrélée significativement avec la densité des pontes de mouche ($P < 0,01$). Ce résultat suggère là encore que, parmi ces espèces de staphylinins, certaines pourraient exercer une action de prédation significative vis-à-vis des œufs de *P. rosae*. Toutefois, la corrélation observée étant positive, il est probable que ces espèces de staphylinins ne soient attirées par les œufs qu'à partir d'un certain niveau de pontes, et qu'elles soient finalement assez peu réactives suite à une attaque des cultures par la mouche *P. rosae*.

Enfin, aucune corrélation entre l'activité des carabidés retrouvés dans les parcelles du réseau Biodivleg et la densité des pontes de *P. rosae* n'a été observée. Il en est de même en ce qui concerne les staphylinins du genre *Aleochara*. Ces résultats suggèrent que ces auxiliaires n'auraient que très peu d'attraction pour les œufs de *P. rosae* ou bien que les niveaux de pontes dans les cultures ont été insuffisants pour susciter leur intérêt (cela pourrait être particulièrement vrai pour les carabidés dont le régime alimentaire est souvent omnivore).

DES PRÉDATEURS DE LARVES ET/OU DE PUPES DIVERSIFIÉS

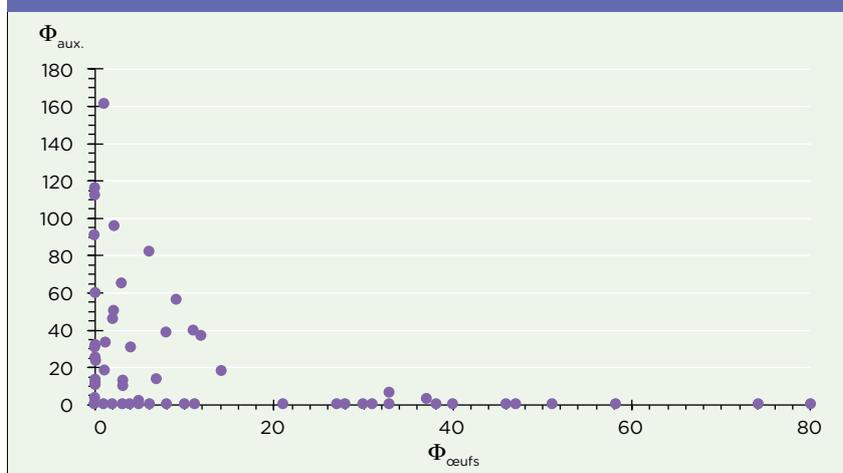
Si l'activité des staphylinins *A. bilineata* et *A. bipustulata* n'est pas corrélée significativement avec la densité des pontes de *P. rosae*, elle l'est en revanche avec l'incidence des galeries de mouches ($P < 0,01$, Tableau 1). Ces résultats suggèrent que ces staphylinins seraient davantage attirés par la présence de larves et/ou de pupes de mouches dans (ou à proximité de) la racine des plantes que par leurs œufs, vis-à-vis desquelles elles sont susceptibles d'exercer une action de prédation et/ou de parasitisme. L'activité des staphylinins autres que ceux du genre *Aleochara* est également corrélée significativement avec le niveau d'infestation des cultures. Il est ainsi probable que, parmi ces staphylinins, certains exercent aussi une action de prédation et/ou de parasitisme vis-à-vis des larves et/ou

TABLEAU 1 : COEFFICIENT DE CORRÉLATION DE SPEARMAN ENTRE LA DENSITÉ D'ACTIVITÉ DES AUXILIAIRES CIBLÉS ET LA DENSITÉ DES PONTES DE LA MOUCHE *P. ROSAE*

Prédateurs et/ou parasitoïdes	$\Phi_{\text{œufs}}$	I_{galeries}
<i>Araneidae</i>	- 0,46 (**)	+ 0,14 (NS)
<i>Pseudoophonus rufipes</i>	+ 0,03 (NS)	+ 0,24 (*)
<i>Poecilus cupreus</i>	+ 0,08 (NS)	+ 0,41 (**)
<i>Pterostichus melanarius</i>	+ 0,10 (NS)	+ 0,25 (*)
<i>Trechinae</i> ⁽¹⁾	- 0,03 (NS)	+ 0,29 (**)
<i>Calathus fuscipes</i>	- 0,12 (NS)	- 0,09 (NS)
<i>Aleochara bilineata</i>	+ 0,10 (NS)	+ 0,44 (**)
<i>Aleochara bipustulata</i>	+ 0,01 (NS)	+ 0,46 (**)
Autres staphylinins	+ 0,62 (**)	+ 0,32 (**)

⁽¹⁾ *M. Lampros*, *M. properans*, *B. quadrimaculatum*, *T. quadristriatus*

FIGURE 3 : Relation entre la densité des pontes de *P. rosae* ($\Phi_{\text{œufs}}$) et la densité d'activité totale (Φ_{aux}) des populations d'araignées du sol



pupes de *P. rosae*, en plus de l'action potentielle qu'ils exercent potentiellement sur ses œufs.

Le comportement des carabidés vis-à-vis des larves et/ou des pupes de *P. rosae* varie quant à lui d'une espèce à l'autre. L'activité des carabidés de la sous-famille des *Trechinae* (*Metallina* sp., *B. quadrimaculatum*, *T. quadristriatus* essentiellement) ainsi que celle des carabidés *P. melanarius* et *P. cupreus* sont ainsi corrélées significativement avec l'incidence des galeries de mouches ($P < 0,01$, $P < 0,05$ et $P < 0,01$ respectivement) ce qui n'est pas le cas pour les carabidés *P. rufipes* et *C. fuscipes*. Ces ré-

sultats suggèrent que les espèces de *Trechinae* retrouvées dans les parcelles du réseau Biodivleg ainsi que les espèces *P. melanarius* et *P. cupreus* exerceraient une action de prédation à l'endroit des larves et/ou des pupes de *P. rosae*.

PARASITISME DES LARVES ET/OU PUPES DE *P. ROSAE*

L'analyse du parasitisme des larves et/ou des pupes de *P. rosae* effectuée en 2011 dans les parcelles de carotte de la Manche montre, d'une part, qu'il existe des parasitoïdes de *P. rosae* dans l'environnement naturel des cultures et, d'autre part, que la structure du parasitisme est

identique quelle que soit la nature des abords de parcelle (Figure 4). L'essentiel du parasitisme observé dans les cultures de carotte de la Manche est ainsi dû à une ou plusieurs espèces de staphylins autres que *A. bilineata* et *A. bipustulata*, qui n'ont toutefois pas pu être déterminées (cette ou ces espèces de staphylins

sont responsables en moyenne de 52 ± 4 % du parasitisme dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité et de 60 ± 4 % du parasitisme dans les parcelles « témoin », $n = 4$). Certaines espèces d'hyménoptères de la famille des *Ichneumonidae*, qui restent également à déterminer, constituent aussi une part

importante du parasitisme des larves et/ou des pupes de *P. rosae* (ces parasitoïdes sont responsables en moyenne de 27 ± 5 % du parasitisme dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité et de 23 ± 2 % du parasitisme dans les parcelles « témoin », $n = 4$). Le reste du parasitisme est dû, dans des proportions égales, aux staphylins *A. bilineata* et *A. bipustulata* (ces staphylins sont responsables en moyenne de 11 ± 4 % et 9 ± 5 % du parasitisme dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité et de 12 ± 4 % et 5 ± 2 % du parasitisme dans les parcelles « témoin », $n = 4$).

Il est possible que la structure du parasitisme des larves et/ou des pupes de *P. rosae* soit similaire dans les autres régions de production étudiées, mais cela n'a pas pu être vérifié pour des raisons techniques. Enfin, l'ampleur du parasitisme (pourcentage moyen de pupes parasitées par parcelle) dans les différentes cultures d'apiacées (y compris en ce qui concerne les cultures de carotte de la Manche) n'a pas été déterminée (là encore pour des raisons techniques) et l'effet des abords de parcelle sur l'intensité du parasitisme n'a pas pu être mis en évidence. Toutes ces questions pourront ainsi faire l'objet d'études approfondies dans le cadre de projets ultérieurs.

FIGURE 4 : Structure du parasitisme des larves et/ou pupes de *P. rosae* : exemple de parcelles de carotte dans la Manche

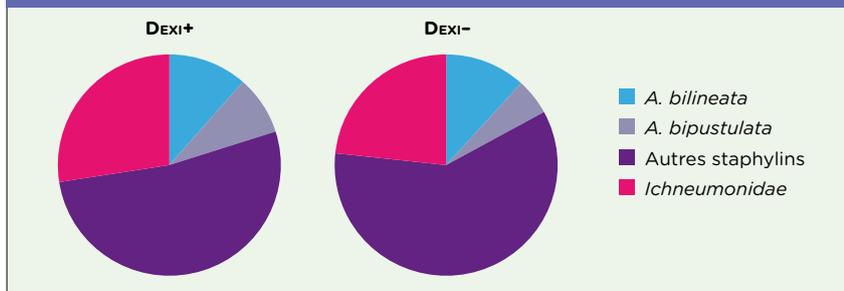
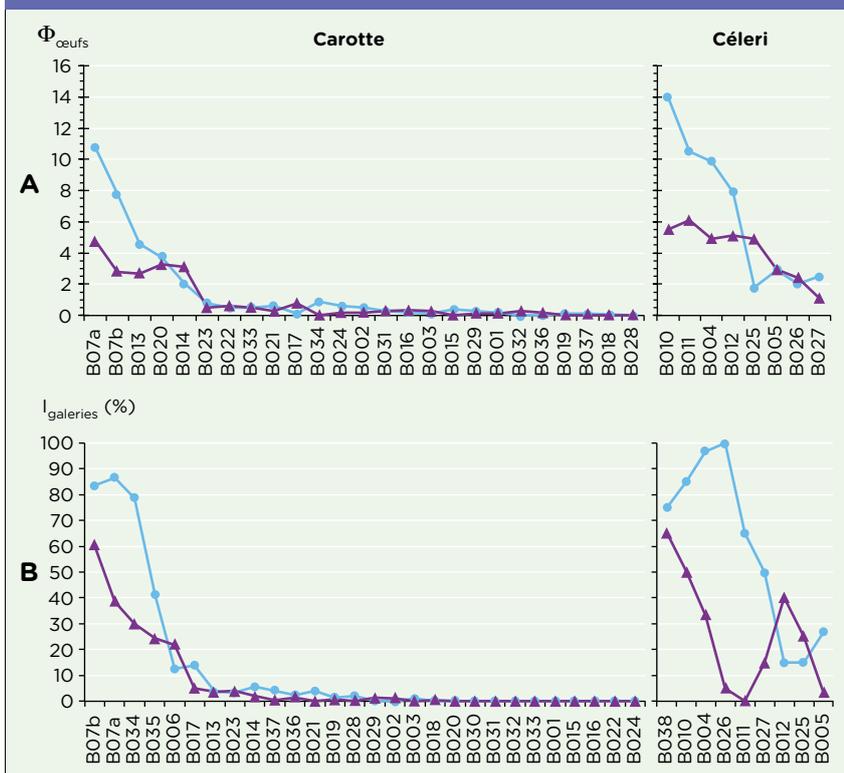


FIGURE 5 : Densité totale des pontes de *P. rosae* ($\Phi_{\text{œufs}}$, A) et incidence des galeries des mouches (I_{galeries} , B) mesurée, pour chaque binôme de parcelles du réseau Biodivleg (B_n)



B_n : N° d'identification des binômes de parcelles ; Points bleus : valeurs pour la parcelle bordée par des IAE de forte densité ; Triangles violets : valeurs pour la parcelle « témoin ».

EFFET DES ABORDS DE PARCELLE SUR LES MOUCHES ET LEURS ENNEMIS NATURELS

LES IAE DE FORTE DENSITÉ FAVORISENT LES PONTES ET LES DÉGÂTS DE *P. ROSAE*

Effet des abords de parcelle sur les pontes
Dans les conditions de production des parcelles du réseau Biodivleg (itinéraire technique conventionnel), la présence d'IAE de forte densité au bord des cultures favorise les pontes de *P. rosae*. L'effet de ces IAE n'est toutefois significatif que si la pression exercée par le ravageur est importante ($P < 0,05$; Figure 5). En cas de forte pression, l'infestation des cultures par *P. rosae* est ainsi plus élevée dans les parcelles bordées par des IAE de



forte densité que dans les parcelles « témoin » dans 80 % des situations observées (n = 10), avec une densité de pontes $1,7 \pm 0,4$ (n = 5) et $2,0 \pm 0,2$ (n = 5) fois plus élevée en moyenne dans le premier type de parcelle que dans le second en ce qui concerne les cultures de carotte et de céleri respectivement.

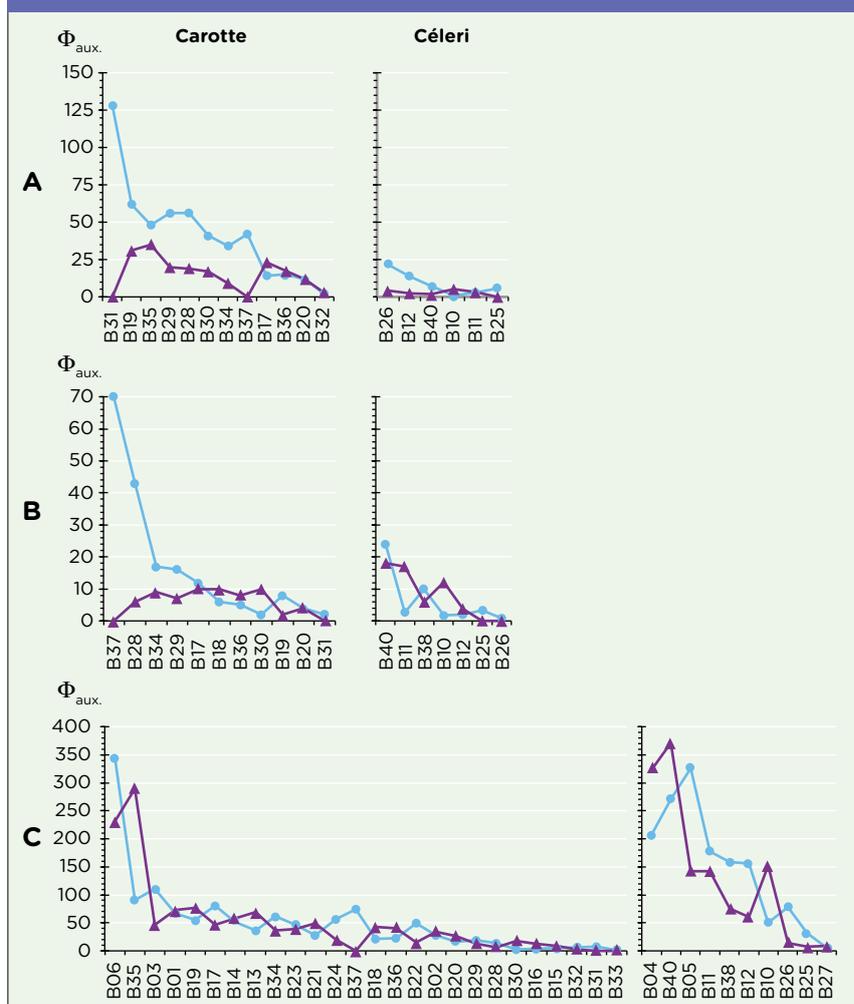
Effet des abords de parcelle sur l'incidence des galeries de mouches

De la même façon que pour les pontes, la présence d'IAE de forte densité au bord des parcelles favorise les dégâts occasionnés par *P. rosae*, dans les cultures de carotte comme dans celles de céleri. Néanmoins, l'effet de ces milieux n'est significatif, là encore, que si la pression exercée par le ravageur est importante ($P < 0,05$; Figure 5). En cas de forte pression, l'incidence des dégâts occasionnés par *P. rosae* est ainsi plus élevée dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité que dans les parcelles « témoin » dans 80 % des situations observées (n = 15), avec un pourcentage de plantes présentant au moins une galerie de mouche dans le pivot racinaire $1,9 \pm 0,3$ (n = 6) et $2,6 \pm 1,0$ (n = 9) fois plus élevé en moyenne dans le premier type de parcelle que dans le second en ce qui concerne les cultures de carotte et de céleri respectivement.

DES AUXILIAIRES PLUS ACTIFS EN PRÉSENCE D'IAE DE FORTE DENSITÉ

La nature des abords de parcelle influence l'activité de certains arthropodes susceptibles de prédateur et/ou de parasiter les œufs, les larves et/ou les pupes de la mouche *P. rosae*. La présence d'IAE de forte densité en bordure de parcelle favorise ainsi l'activité des staphylinins *A. bilineata* et *A. bipustulata* dans les cultures adjacentes, mais l'effet de ces milieux n'est significatif que lorsque la taille des populations présentes est importante ($P < 0,05$; Figure 6). Dans ce cas de figure, l'activité d'*A. bilineata* et d'*A. bipustulata* est plus élevée dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité que dans

FIGURE 6 : Densité d'activité totale ($\Phi_{aux.}$) des populations d'*A. bilineata* (A), d'*A. bipustulata* (B) et des autres espèces de staphylinins (C) mesurée pour chaque binôme de parcelles du réseau Biodivleg (B_n)



B_n : N° d'identification des binômes de parcelles ; Points bleus : valeurs pour la parcelle bordée par des IAE de forte densité ; Triangles violets : valeurs pour la parcelle « témoin ».

les parcelles « témoin » dans respectivement 89 % (n = 9) et 83 % (n = 5) des situations observées, avec une densité d'activité $2,7 \pm 1,2$ (n = 9) et $2,3 \pm 0,4$ (n = 5) fois plus élevée en moyenne dans le premier type de parcelle que dans le second.

L'effet des abords de parcelle sur l'activité des carabidés varie quant à lui en fonction des espèces. Comme pour les staphylinins du genre *Aleochara*, la présence d'IAE de forte densité en bordure de parcelle favorise l'activité de *P.*

rufipes et de *P. cupreus*, mais là encore l'effet de ces milieux n'est significatif que lorsque la taille des populations présentes est importante ($P < 0,05$). Dans ce cas de figure, l'activité de ces deux espèces de carabidés est plus élevée dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité que dans les parcelles « témoin » dans respectivement 83 % (n = 6) et 100 % (n = 3) des situations observées, avec une densité d'activité $7,4 \pm 3,9$ (n = 6) et $14,2 \pm 8,8$ (n = 3) fois plus élevée en moyenne dans le premier



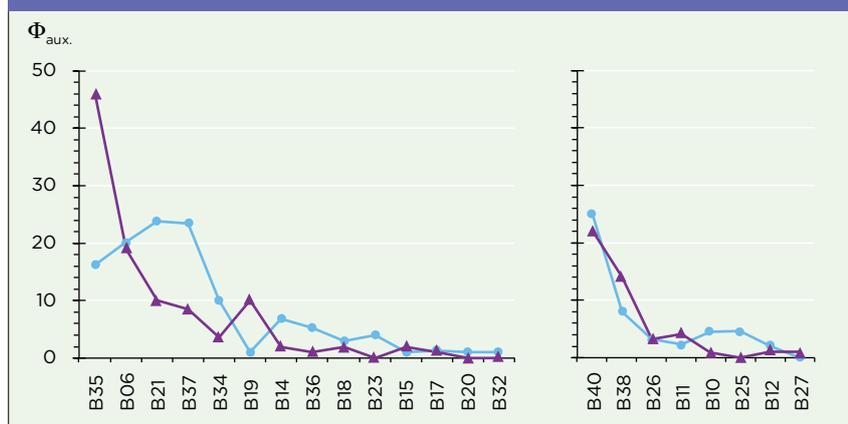
type de parcelle que dans le second. En revanche, la nature des abords de parcelle n'influence pas de manière significative l'activité de *P. melanarius* dans les cultures ainsi que celle des principaux carabidés de la sous-famille des *Trechinae* (*Metallina* sp., *Bembidion quadrimaculatum* et *T. quadristriatus*), même lorsque la taille des populations présentes est importante (Figure 7). Dans ce cas de figure en effet, l'activité de *P. melanarius* et des *Trechinae* est plus élevée dans les parcelles bordées

par des IAE de forte densité que dans les parcelles « témoin » dans seulement 43 % (n = 7) et 55 % (n = 9) des situations observées respectivement, avec une densité d'activité $0,5 \pm 0,2$ (n = 7) et $1,3 \pm 0,4$ (n = 9) fois plus élevée en moyenne dans le premier type de parcelle que dans le second.

Enfin, la nature des abords de parcelle n'influence pas de manière significative l'activité des araignées du sol dans les cultures, y compris là encore lorsque la taille des populations présentes est

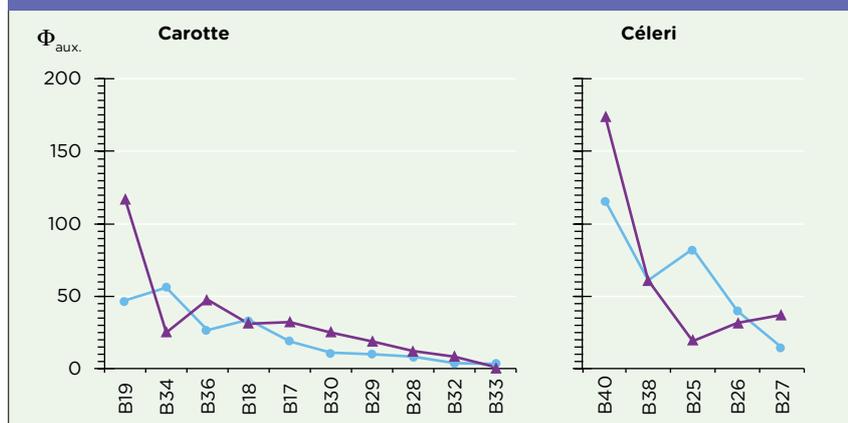
importante (Figure 8). Dans ce cas de figure en effet, l'activité des araignées du sol est plus élevée dans les parcelles bordées par des IAE de forte densité que dans les parcelles « témoin » dans seulement 25 % (n = 12) des situations observées, avec une densité d'activité $1,1 \pm 0,3$ (n = 12) fois plus élevée en moyenne dans le premier type de parcelle que dans le second. De la même façon, l'activité des staphylins autres que ceux du genre *Aleochara* n'est pas influencée de façon significative par la nature des abords de parcelle (Figure 6).

FIGURE 7 : Densité d'activité totale des populations de *Trechinae* (Φ_{aux}) mesurée pour chaque binôme de parcelles du réseau Biodivleg (B_n)



B_n : N° d'identification des binômes de parcelles ; Points bleus : valeurs pour la parcelle bordée par des IAE de forte densité ; Triangles violets : valeurs pour la parcelle « témoin ».

FIGURE 8 : Densité d'activité totale des populations d'araignées du sol (Φ_{aux}) mesurée pour chaque binôme de parcelles du réseau Biodivleg (B_n)



B_n : N° d'identification des binômes de parcelles ; Points bleus : valeurs pour la parcelle bordée par des IAE de forte densité ; Triangles violets : valeurs pour la parcelle « témoin ».

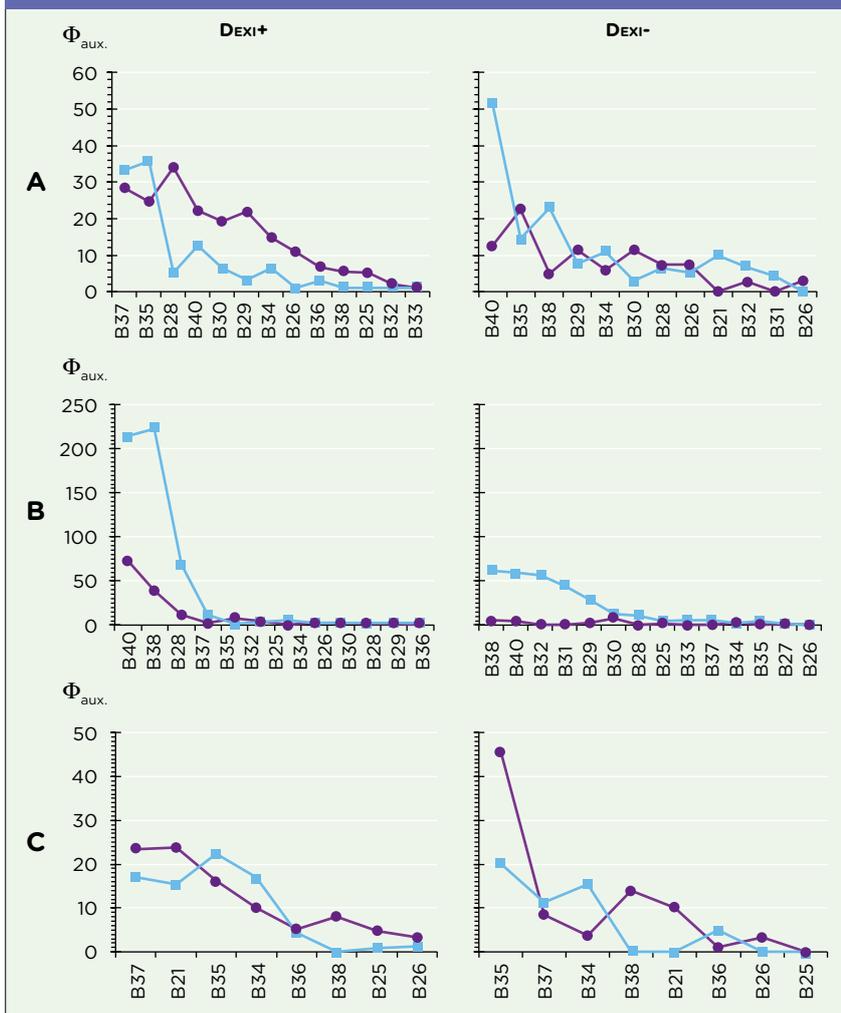
DIFFUSION ACTIVE CONTRE DIFFUSION PASSIVE ?

Dans le projet Biodivleg, l'activité des populations de staphylins, de carabidés et d'araignées du sol a été suivie conjointement dans les cultures et sur leurs abords dans 15 binômes de parcelles. Les résultats obtenus montrent que, dans 70 % des parcelles bordées par des IAE de forte densité, l'activité des staphylins du genre *Aleochara* est significativement plus élevée à l'intérieur des cultures que sur leurs abords ($P < 0,05$) alors que ce n'est pas le cas dans les parcelles « témoin » (Figure 9). Ces résultats suggèrent que ces staphylins se disperseraient dans les cultures de manière active, en réponse à un ou plusieurs stimuli propre(s) aux parcelles bordées par des IAE de forte densité (si ce n'était pas le cas, la répartition des staphylins entre les cultures et leurs abords serait probablement identique dans les deux types de parcelle étudiés). Il est possible que la présence de larves et/ou de pupes de *P. rosae* dans les cultures, fortement favorisée par la présence d'IAE de forte densité en bordure de parcelle, soit l'un de ces stimuli.

L'activité des araignées du sol est quant à elle significativement plus faible dans les cultures que sur leurs abords dans 80 % des parcelles bordées par des IAE de forte densité et 64 % des parcelles « témoin » ($P < 0,05$). Ces résultats suggèrent que les araignées auraient une préférence pour les abords de par-



FIGURE 9 : Densité d'activité totale ($\Phi_{aux.}$) des populations d'*Aleochara* sp. (A), de *P. rufipes* (B) et de *Trechinae* (C) mesurée, pour chaque binôme de parcelles du réseau Biodivleg (B_n)



B_n : N° d'identification des binômes de parcelles ; carrés bleus : valeurs pour la parcelle bordée par des IAE de forte densité ; ronds violets : valeurs pour la parcelle « témoin ».

celle plutôt que pour les cultures elles-mêmes, et ce quelle que soit la nature des abords. Ils suggèrent également qu'elles se disperseraient dans les cultures de manière passive, sans réaction à un ou plusieurs stimuli particuliers. Une augmentation des populations d'araignées en bordure de parcelle entraînerait ainsi, mécaniquement et selon une relation linéaire, une augmentation de leurs populations à l'intérieur des cultures (Figure 10). De la même façon, lorsque le carabidé *P. rufipes* est présent dans les

parcelles, son activité est significativement plus faible dans les cultures que sur leurs abords, surtout lorsque ceux-ci sont constitués d'IAE de forte densité que cette espèce de carabidé semble apprécier particulièrement (Figure 9). Là encore, la dispersion des populations de *P. rufipes* dans les cultures pourrait se dérouler de manière passive. Cependant, les résultats obtenus suggèrent que les populations de *P. rufipes* ne se diffuseraient des abords vers le centre des cultures que lorsque la taille des

populations présentes en bordure de parcelle devient très importante. Enfin, l'activité des carabidés de la sous-famille des *Trechinae* ainsi que celle de *P. melanarius* et des staphylins autres que *A. bilineata* et *A. bipustulata* est identique dans les cultures et leurs abords (Figure 9), ce qui suggère que ces auxiliaires se disperseraient de manière aléatoire dans les cultures, indépendamment de la nature des abords de parcelle.

DES RÉSULTATS POUR COMPRENDRE ET MIEUX GÉRER LES SYSTÈMES DE CULTURE

Les travaux mis en œuvre dans le cadre du projet Biodivleg ont permis de caractériser les populations de prédateurs et/ou de parasitoïdes potentiels de la mouche *P. rosae* au sein de cultures d'apiacées (carotte et céleri) réparties dans quatre zones de production (Finistère sud, Manche, Bouches-du-Rhône et Charente-Maritime). Ils ont également permis d'approfondir les connaissances sur leurs interactions avec les populations de *P. rosae* ainsi que sur la façon dont celles-ci peuvent être influencées par la nature des abords de parcelle.

DES ENNEMIS NATURELS (POTENTIELS) MIEUX CONNUS

Les résultats obtenus montrent que, dans chaque zone de production, la structure spécifique des populations de carabidés est caractérisée par la présence de quelques sous-familles hégémoniques (*Pterostichinae* et *Harpalinae* en Charente-Maritime et dans le Finistère sud par exemple, *Trechinae* dans la Manche) voire de quelques espèces hégémoniques (*C. fuscipes* dans les Bouches-du-Rhône par exemple). Parmi celles-ci, certaines ont une activité particulièrement intense au printemps (*P. cupreus*) ou bien en été (*Metallina* sp. et *P. rufipes*) voire en automne (*C. fuscipes*). La structure des populations de staphylins dans les cultures d'apiacées varie également d'une zone de production



à l'autre, avec par exemple des proportions de staphylins du genre *Aleochara* plus importantes dans le Loiret et dans la Manche qu'en Charente-Maritime ou dans le Loiret.

DES PRÉDATEURS D'ŒUFS À FAVORISER

Parmi les ennemis naturels potentiels de *P. rosae* retrouvés dans les cultures d'apiacées, seules les araignées du sol sembleraient se comporter comme des auxiliaires de protection. Les résultats obtenus dans le cadre du projet Biodivleg suggèrent en effet que les araignées du sol exercent une action de prédation rapide et significative à l'endroit des œufs de mouches, qu'elles consommeraient dès les premières pontes (corrélation négative entre l'activité des araignées du sol et la densité des pontes). Ce comportement présente un intérêt direct pour la production (i) dans la mesure où l'action de prédation intervient avant la pénétration des larves dans la racine des plantes (et par conséquent avant l'apparition des dégâts) et (ii) dans la mesure où le nombre moyen d'œufs pondus par plante est corrélée positivement avec l'incidence des galeries de mouches (Figure 11). Dans une optique de contrôle biologique des populations de mouches par conservation des habitats, les araignées du sol seraient donc des auxiliaires qu'il faudrait chercher à favoriser en priorité. De la même façon, une ou plusieurs espèces de staphylins n'appartenant pas au genre *Aleochara*, et qui restent à déterminer, exerceraient une action de prédation vis-à-vis des œufs de *P. rosae*. Toutefois, les résultats obtenus suggèrent que leur intervention serait relativement tardive et qu'elle ne serait effective qu'à partir d'un certain niveau de pontes (corrélation positive entre l'activité des staphylins et la densité des pontes de mouches). Ces espèces de staphylins, qui semblent se comporter dans les cultures comme des auxiliaires de nettoyage, pourraient présenter un intérêt direct pour la production s'ils venaient en relais à l'action des araignées du sol.

FIGURE 10 : Relation entre la densité d'activité totale ($\Phi_{aux.}$) des populations d'araignées mesurée dans les cultures et celle mesurée dans leurs abords

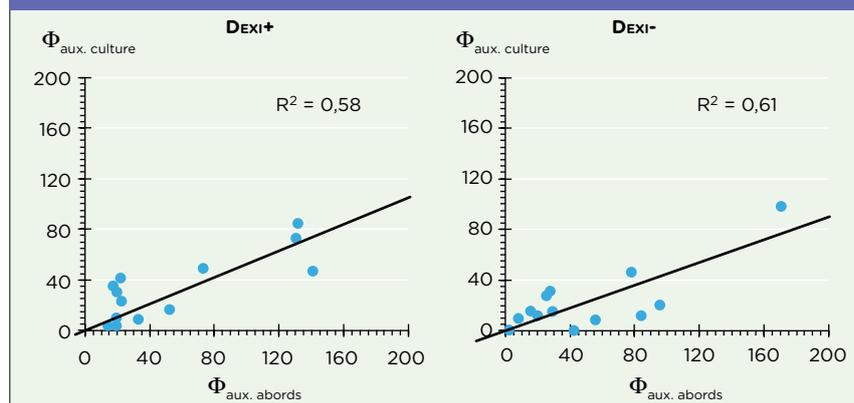
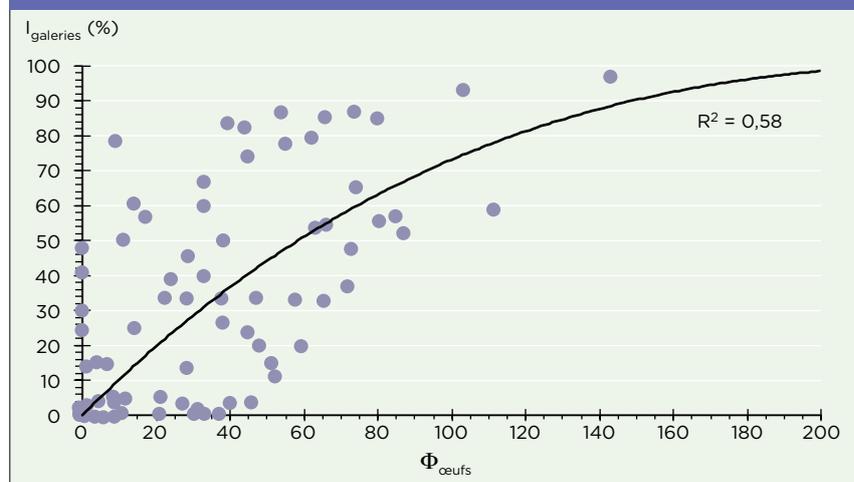


FIGURE 11 : Relation entre la densité des pontes de *P. rosae* ($\Phi_{œufs}$) et l'incidence des galeries de mouches ($I_{galeries}$).



Dans les conditions de production des parcelles du réseau Biodivleg (itinéraire technique conventionnel), l'action des prédateurs d'œufs demeure toutefois insuffisante à elle seule pour garantir un rendement commercial satisfaisant. Plusieurs hypothèses, qui pourront être testées dans le cadre de projets ultérieurs, sont susceptibles d'expliquer cela. Tout d'abord, il est possible que le cortège de prédateurs d'œufs de *P. rosae* ne soit pas suffisamment étoffé pour assurer un service de régulation naturelle efficient dans les cultures d'apiacées. À part les araignées du sol probablement et sans

doute quelques espèces de staphylins autres que *A. bilineata* et *A. bipustulata*, très peu d'arthropodes prédateurs pourraient en effet, en conditions réelles de production, s'intéresser aux œufs de *P. rosae* contrairement à ce qui a pu être observé en cultures de brassicées pour les mouches du genre *Delia* (Picault, 2012). Il est aussi possible que, en conditions réelles de production, les œufs de *P. rosae* soient peu accessibles à leurs prédateurs qui verraient alors leur action amoindrie.

La taille des populations de prédateurs d'œufs dans les cultures d'apiacées



pourrait également être trop étriquée pour assurer un contrôle biologique significatif des pontes de *P. rosae*. La petite taille de ces populations pourrait être la résultante d'une utilisation massive d'insecticides non sélectifs de la faune auxiliaire, mais cela reste à démontrer *via* la mise en place d'essais spécifiques et de tests biologiques en laboratoire. Il est aussi possible que les prédateurs d'œufs de *P. rosae* soient, de façon tout à fait naturelle, peu abondants dans les agroécosystèmes maraîchers et/ou que leur diffusion, des abords vers l'intérieur des cultures, ne soit pas effective. Dans ce cas, l'accroissement et la diffusion des populations de prédateurs se dispersant de manière passive dans les cultures pourraient être favorisés par la mise en place, dans ou à proximité des cultures, d'IAE particulières jouant un rôle de « réservoir-diffuseur » d'ennemis naturels. Le succès de cette pratique pourrait éventuellement être amélioré en augmentant les effectifs des populations naturelles *via* l'inoculation artificielle d'individus supplémentaires au sein même de ces IAE (c'est-à-dire en combinant des techniques de contrôle biologique par conservation et des techniques de contrôle biologique par augmentation), voire en assurant une continuité physique entre le centre des cultures et leurs abords (à travers la mise en place d'associations de culture

ou de plantes compagnes par exemple). Il est très probable que les IAE les plus appropriées pour augmenter le contrôle biologique des pontes de *P. rosae* en cultures d'apiacées soient des IAE de faible ou de moyenne densité (bandes enherbées, prairies naturelles...), mais cela reste à vérifier. En effet, les résultats obtenus dans le cadre du projet Biodivleg montrent que la présence d'IAE de forte densité (haies, lisières de bois) au bord des cultures d'apiacées n'y augmente pas significativement l'activité des espèces d'arthropodes probablement prédatrices d'œufs de *P. rosae* (araignées du sol et certaines espèces de staphylins autres que *A. bilineata* et *A. bipustulata*) et qu'elle pourrait au contraire être délétère pour la production en favorisant les pontes de ce ravageur. La diffusion des prédateurs d'œufs se dispersant dans les cultures de manière active pourrait quant à elle être favorisée par l'introduction artificielle de proies alternatives (œufs stériles d'*Ephesia* voire même de mouches, arthropodes phytophages inoffensifs pour la culture, graines...) ou par la diffusion de molécules attractives. La mise en œuvre de telles pratiques peu avant les périodes de pontes de *P. rosae* permettraient par ailleurs aux prédateurs d'œufs peu réactifs vis-à-vis des attaques de mouches de pénétrer précocement dans les cultures et d'intervenir dès les premières pontes, ce qu'ils ne feraient pas autrement.

Enfin, il est possible que l'action des prédateurs d'œufs de *P. rosae* n'ait un effet significatif sur le rendement commercial qu'à partir d'un certain équilibre entre la taille de leurs populations et l'abondance des œufs de mouches, qui reste à définir et qui n'est sans doute pas atteint dans le contexte de production des parcelles échantillonnées dans le cadre du projet Biodivleg.

DES PRÉDATEURS ET/OU PARASITOÏDES DE LARVES ET/OU DE PUPES À PRÉSERVER

Les staphylins *A. bilineata* et *A. bipustulata* ainsi que d'autres espèces de staphylins qui restent à déterminer, tout comme les carabidés *P. rufipes*, *P. cupreus*, *P. melanarius* et ceux de la sous-famille des *Trechinae* (*Metalina* sp., *B. quadrimaculatum* et *T. quadristriatus*), exerceraient une action de prédation et/ou de parasitisme significative vis-à-vis des larves et/ou des pupes de *P. rosae*. La structure du parasitisme qui a été déterminée dans plusieurs parcelles de carotte de la Manche montre que, contrairement aux carabidés qui jouent exclusivement un rôle de prédateur, certaines espèces de staphylins se comportent aussi en parasitoïde de *P. rosae*. Avec une ou plusieurs espèces d'hyménoptères de la famille des Ichneumonidae qui restent à déterminer, ces espèces de staphylins constitueraient la principale source de parasitisme des larves et/ou des pupes de *P. rosae* en cultures d'apiacées. Bien qu'ils n'interviennent qu'après la formation des dégâts dans la racine des plantes, les prédateurs et/ou parasitoïdes de larves et/ou de pupes de *P. rosae* présentent un intérêt indirect et à long terme pour la production, dans la mesure où ils contribuent à réduire le potentiel d'infestation d'une année sur l'autre (en limitant l'émergence de nouveaux individus, ils contiennent l'accroissement interannuel des populations de mouches).

Les résultats obtenus suggèrent que l'activité des populations d'*A. bilineata* et d'*A. bipustulata* ainsi que celle des ca-



> PIÈGE FOSSE POUR LE SUIVI DES CARABIDÉS, DES STAPHYLINS ET DES ARAIGNÉES DU SOL



rabidés *P. cupreus* et *P. rufipes* peut être favorisée dans les cultures d'apiacées par la mise en place d'IAE de forte densité en bordure de parcelle. Toutefois, la diffusion des auxiliaires se dispersant dans les cultures de manière passive, comme *P. rufipes* probablement, ne serait effective que si la taille des populations hébergées au sein des IAE en place est très importante. La diffusion des prédateurs et/ou parasitoïdes de larves et/ou de pupes de mouches se dispersant de manière active, comme les staphylins *A. bilineata* et *A. bipustulata* probablement, ne serait effective quant à elle qu'en réponse à des stimuli particuliers, tels que la présence de nourriture dans les cultures (larves et/ou les pupes de mouches par exemple). Il est ainsi très probable que les IAE de forte densité favorisent l'activité de ce type d'auxiliaires dans les cultures adjacentes, non pas de façon directe via leurs qualités intrinsèques, mais parce qu'elles favorisent d'abord et avant tout l'infestation des cultures par *P. rosae*... Dans ce cas, la mise en œuvre de pratiques complémentaires à l'implantation d'IAE particulières, telles que l'utilisation d'un augmentorium adapté à la mouche *P. rosae* (Deguine et al., 2010), pourrait favoriser la diffusion précoce de ce type d'auxiliaire dans les cultures.

Enfin, la présence d'IAE de forte densité en bordure de parcelle n'a pas d'effet significatif sur l'activité des staphylins autres que *A. bilineata* et *A. bipustulata* dans les cultures d'apiacées adjacentes, ni sur celle de *P. melanarius* et des carabidés de la sous-famille des *Trechinae*.

NOUVEAUX ENJEUX TECHNIQUES ET MÉTHODOLOGIQUES

Les résultats obtenus dans le cadre du projet Biodivleg pourront être mis à profit par les techniciens agricoles et les producteurs d'apiacées pour gérer les systèmes de culture de façon à limiter les pullulations de *P. rosae* et améliorer

par conséquent l'efficacité des moyens de protection mis en œuvre. La présence d'IAE de forte densité en bordure de parcelle favorisant les pontes de *P. rosae*, il convient par exemple et dans la mesure du possible, de ne pas cultiver de carottes ou de céleri à proximité de haies ou de lisières de bois. L'action des prédateurs d'œufs de mouches doit aussi être favorisée, l'ampleur des dégâts à la récolte étant directement corrélée avec l'intensité des pontes pendant les périodes d'oviposition. L'action des prédateurs et/ou parasitoïdes de larves et/ou pupes de mouches ne doit pas non plus être négligée dans la mesure où elle contribue à réguler les populations de mouches sur le long terme. Si la conservation ou la mise en place d'IAE particulières en bordure de parcelle pourrait favoriser l'activité de certains prédateurs et/ou parasitoïdes, cette pratique ne suffit pas à elle seule, dans des conditions de production conventionnelles, pour amplifier significativement la régulation naturelle des populations de *P. rosae* dans les cultures. Elle doit ainsi et nécessairement être complétée par la mise en œuvre de techniques culturales favorisant la diffusion et l'action des ennemis naturels au sein même des cultures, en prenant en compte le mode de dispersion actif ou passif qui semble caractériser certaines espèces. Ces techniques, dont la mise au point et l'évaluation pourront faire l'objet de projets ultérieurs, pourront faire appel à l'écologie chimique (diffusion de molécules attirant des prédateurs et/ou parasitoïdes ciblés), à l'écologie (épandage d'œufs stériles d'*Ephestia* voire de mouches, lâchers artificiels d'auxiliaires...) ou encore à l'agronomie (association de cultures, plantes compagnes). Enfin, le développement de méthodologies reposant sur l'utilisation de technologies innovantes et performantes (outils de biologie moléculaire, caméras miniatures, RFID...) permettrait d'étudier de façon plus approfondie les phénomènes de prédation et de parasitisme ainsi que la façon dont s'opèrent les flux d'enne-

mis naturels entre les cultures et leurs abords. C'est en effet la connaissance fine de tous ces processus et le développement de nouvelles technologies pour y parvenir qui permettra à terme d'élaborer des systèmes de production à la fois performant économiquement et intensifs écologiquement. C'est dans cette étape méthodologique cruciale que réside l'enjeu, majeur, des travaux à venir. ■

BIBLIOGRAPHIE

Brunel E., 1979. Étude de l'ovogénèse de *Psila rosae* : rôle de la température, de l'alimentation et de la plante-hôte.

Collier and Finch, 1996. Field and laboratory studies on the effects of temperature on the development of the carrot fly *Psila rosae*. *Ann. Appl. Biol.* 128 : p. 1-11.

Dajoz R., 2002. Les Coléoptères Carabidés et Ténébrionidés : écologie et biologie. Éditions Tec et Doc, 522 pp.

Deguine et al., 2011. L'augmentorium, un outil de protection agroécologique des cultures. *Cahiers de l'Agriculture vol. 20 n°4*, p. 261-265.

Freuler et al., 1982. La mouche de la carotte *Psila rosae*. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic. Vol. 14 (2)* : p. 71-79.

Picault S., 2012. Régulation naturelle des mouches du genre *Delia* en cultures de brassicacées. *Infos-Ctifl n° 285*, p. 37-51.

Pfiffner et Luka, 2003. Effects of low-input farming systems on carabids and epigeal spiders-A paired farm approach. *Basic Appl. Ecol.*, 4, p. 1117-1127.

Scherrer B., 1984. *Biostatistique*. Gaëtan Morin Editeur, 850 pp.

Villeneuve F., 2011. Contre les mouches des cultures légumières, quelles stratégies de protection mettre en œuvre ? *Infos-Ctifl n° 271 mai 2011*, p.51-61.