

# Symbiontes et arthropodes – quelles implications pour la lutte biologique?

Alexandre Aebi<sup>1</sup> et Renate Zindel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Neuchâtel, 2000 Neuchâtel, Suisse

<sup>2</sup>Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich, Suisse

Renseignements: Alexandre Aebi, e-mail: alexandre.aebi@art.admin.ch, tél. +41 32 718 31 47



Le régime alimentaire de l'acarien *Rhizoglyphus robini* dépend de la composition de son microbiome.

## Introduction

De nombreux arthropodes sont responsables de pertes économiques importantes en agriculture. L'émergence ou la réémergence de ravageurs de cultures représente un défi continu pour l'agriculture et l'environnement. La lutte biologique, qui consiste en l'utilisation des ennemis naturels (arthropodes, nématodes, bactéries, champignons ou virus) des ravageurs de culture, est couramment utilisée en Suisse, avec 53 espèces homologuées à ce jour.

La majorité des arthropodes vivent en association avec de nombreuses bactéries endosymbiotiques (bactéries vivant à l'intérieur des cellules de leurs hôtes, souvent dans les tissus reproducteurs, voir fig. 1). Par exemple, les endosymbiontes (ES) *Wolbachia* et *Cardinium* infectent 66 % et 7 % (Zindel *et al.* 2011) des espèces d'insectes. En outre, 52 % des espèces de coccinelles (plusieurs espèces sont utilisées comme auxiliaires contre les pucerons) seraient infectées par au moins une des bactéries suivante: *Wolbachia*, *Rickettsia* ou *Spiroplasma* (Weinert *et al.* 2007). Les relations entre arthropodes et bactéries sont de plusieurs types. Les symbiontes obligatoires (ou primaires) sont impliqués dans les fonctions vitales de leurs hôtes. La perte de ces bac-

téries signifierait donc la mort de leurs hôtes. Par exemple, *Buchnera aphidicola*, le symbionte obligatoire du puceron du pois *Acyrtosiphon pisum*, lui fournit des acides aminés essentiels, absents de son régime alimentaire. Au contraire, les symbiontes facultatifs (ou secondaires), dont font partie les ES, ne sont pas indispensables à leur hôte; leur présence peut avoir un effet neutre, positif ou négatif sur la nutrition, reproduction ou la survie de leur hôte.

Certains ES sont connus pour leur influence sur la stratégie reproductive de leurs hôtes (O'Neill *et al.* 1997). Comme ces bactéries sont transmises verticalement (de la mère à sa descendance), elles ont développé différentes stratégies afin de favoriser la reproduction des femelles infectées par rapport aux femelles non-infectées et de favoriser ainsi leur propre transmission. A l'image d'une souche de *Wolbachia* infectant un acarien phytophage du genre *Bryobia*, certains ES sont capables de transformer une espèce se reproduisant de manière sexuée en une espèce parthénogénétique (asexuée ou clonale). D'autres bactéries ont le pouvoir d'empêcher le développement d'embryons issus du croisement entre mâles infectés et femelles non-infectées en induisant une incompatibilité cytoplasmique. Un tel phénomène a été décrit chez le parasitoïde hyménoptère *Encarsia pergandiella* infecté par *Cardinium*. Toujours dans le monde des parasitoïdes, une souche de *Cardinium* est capable de transformer un individu de l'espèce *Encarsia hispida* génétiquement mâle en une femelle fonctionnelle. Cet effet est appelé féminisation. Chez les arthropodes déposant leurs œufs de manière groupée, les individus fraîchement éclos représentent souvent un premier repas apprécié pour de jeunes larves. Chez la coccinelle *Adalia bipunctata*, plusieurs bactéries héritées de la mère tuent sélectivement les embryons mâles. Cet apport de nourriture permet aux femelles, issues de la même mère infectée, de se développer plus rapidement et de ce fait augmente leur compétitivité par rapport aux femelles issues de mères non-infectées.

Une autre stratégie pour se propager au sein de la population de son hôte est de se rendre indispensable à

celui-ci. En conférant à leurs hôtes une protection contre certains ennemis naturels comme des parasitoïdes hyménoptères, des nématodes, des champignons entomo-pathogènes, des bactéries, ou des virus, les ES favorisent leur maintien et leur propagation dans leur population. Certains ES seraient impliqués dans le développement de résistances de leurs hôtes contre certains pesticides et même dans certains mécanismes d'adaptation à des conditions environnementales défavorables à leurs hôtes (Zindel *et al.* 2011).

Les ES peuvent donc fortement influencer le succès d'un programme de lutte biologique. Ces sous-locaux influents peuvent non seulement affecter l'élevage d'auxiliaires de lutte biologique (en modifiant le mode de reproduction de leurs hôtes) mais également influencer les interactions entre les agents de lutte biologique et leurs ravageurs de culture cible (induction de résistances contre certains ennemis naturels). Cet article, basé sur une «review» de Zindel *et al.* (2011) publiée dans le *Journal of Applied Ecology*, explique comment les ES peuvent jouer un rôle dans la mise en œuvre d'un programme de lutte biologique, donne quelques exemples pratiques en lien avec la lutte biologique en Suisse (tabl. 1) et propose une marche à suivre afin d'identifier les potentiels problèmes liés à leur présence.

#### Induction de parthénogenèse et lutte biologique

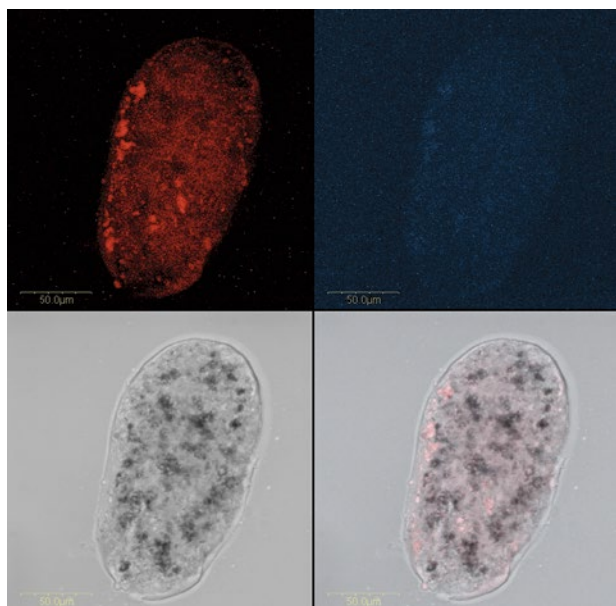
Certains hyménoptères parasitoïdes et acariens prédateurs sont d'importants auxiliaires de lutte biologique. Le déterminisme du sexe des certaines espèces appartenant à ces ordres est déterminé génétiquement.

#### Des informations pour la lutte biologique

Un catalogue gratuit, décrivant les associations connues entre les agents de lutte biologique les plus utilisés en Suisse et en Europe (EPPO Standard on Safe Use of Biological Control -PM6/3 – Version 2010) et plusieurs ES connus est publié sur le site internet «Symbionts in Control: Un catalogue d'auxiliaires de lutte biologique et leurs symbiontes». Accès: <http://www.symbiontsincontrol.ch>. Ce site internet a été développé afin d'informer les praticiens de la lutte biologique sur les effets méconnus des ES sur les arthropodes et de leur fournir des outils afin de détecter leur présence dans le matériel utilisé dans un programme de lutte biologique.

**Résumé** La majorité des arthropodes vivent en association avec de nombreuses bactéries. Alors que certaines bactéries sont impliquées dans les fonctions vitales de leurs hôtes, d'autres ne leur sont pas indispensables et leur présence peut avoir un effet neutre, positif ou négatif sur la nutrition, reproduction ou la survie de leur hôtes. Certains endosymbiontes sont connus pour leur influence sur la stratégie reproductive de leurs hôtes. Transmises verticalement, ces bactéries ont développé différentes stratégies pour favoriser la reproduction des femelles infectées par rapport aux femelles non-infectées et favoriser ainsi leur propre transmission. Une autre stratégie pour se propager au sein de la population de son hôte est de se rendre indispensable à celui-ci. En protégeant leurs hôtes contre certains ennemis naturels les endosymbiontes favorisent leur maintien et leur propagation dans leur population. Les endosymbiontes peuvent donc fortement influencer le succès d'un programme de lutte biologique. Cet article explique comment les endosymbiontes peuvent influencer la mise en œuvre d'un programme de lutte biologique, donne quelques exemples pratiques et propose une marche à suivre afin d'identifier les potentiels problèmes liés à leur présence.

Dans ces groupes d'organismes haplo-diploïdes, les mâles sont haploïdes (1 set de chromosomes) et se développent à partir d'œufs non fécondés. Les femelles quant à elles sont diploïdes (2 sets de chromosomes) et leurs œufs sont généralement fécondés. L'induction de parthénogenèse pourrait augmenter le taux d'accroissement de population et faciliter l'élevage en masse de ces organismes en rendant les mâles obsolètes. L'induction de parthénogenèse par des ES pourrait fortement influencer le succès d'un programme de lutte biologique si les mâles et les femelles d'une espèce d'auxiliaire diffèrent dans leur efficacité à diminuer la population de l'espèce cible. Dans la plupart des cas (chez les hyménoptères parasitoïdes par exemple), seules les femelles jouent un rôle direct dans le contrôle d'une espèce nuisible (oviposition dans ou sur un individu de l'espèce cible). Les mâles ne seraient alors utiles que pour fertiliser les femelles. Théoriquement, une population d'hyménoptères parthénogénétiques d'une taille donnée aurait donc la capacité de parasiter deux fois plus d'hôtes



**Figure 1** | Bactéries (en rouge) à l'intérieur d'un œuf de l'acarien *Rhizoglyphus robini*. La technique FISH (*Fluorescent In Situ Hybridization*) permet de visualiser des bactéries dans les tissus de son hôte.

qu'une population sexuée (si le sex-ratio est 50 % : 50 %). Un agent de lutte biologique peut avoir un effet indésirable sur l'environnement (Bigler *et al.* 2006). Par exemple, une espèce de parasitoïde sexuée introduite dans un nouvel environnement pourrait former des hybrides avec des espèces natives et de ce fait affecter l'intégrité génétique de ces dernières. La formation d'hybrides avec des espèces natives figure parmi les effets non cibles sur l'environnement liés à l'introduction d'agents de lutte biologique. L'utilisation d'auxiliaires parthénogénétiques éviterait dès lors ce risque. Toutefois, l'utilisation d'espèces parthénogénétiques présente également des désavantages. En effet, il a été démontré que le taux de reproduction était plus élevé chez les lignées sexuées que chez une lignée asexuée en raison du fort taux de mortalité des juvéniles infectés par *Wolbachia* ou du délai imposé par l'ES sur le temps de développement. Les nombreuses discussions en cours sur l'évolution et la maintenance de reproduction sexuée et asexuée illustrent parfaitement les avantages et désavantages liés aux deux modes de reproduction.

A ce jour, nous savons que *Wolbachia*, *Cardinium* et *Rickettsia* sont capables d'induire une parthénogenèse chez leurs hôtes. Lors d'élevages industriels d'espèces haplo-diploïdes, nous recommandons aux praticiens d'évaluer les effets potentiels de ces ES sur les populations d'agents de lutte biologique. En effet, en présence de parthénogenèse induite par un ES, un lâcher de femelles uniquement s'avérerait plus efficace qu'un

lâcher de mâles et de femelles. De plus, l'utilisation d'antibiotiques pour se débarrasser de bactéries pathogènes dans un élevage pourrait affecter ces ES bénéfiques.

### Incompatibilité cytoplasmique et lutte biologique

L'incompatibilité cytoplasmique inhibe le développement des embryons issus du croisement entre un mâle infecté et une femelle non-infectée et peut donc être considéré comme une stratégie de stérilisation de population de ravageurs de culture (analogue à la technique de l'insecte stérile). La mouche méditerranéenne *Ceratitis capitata* cause d'importants dégâts aux cultures de nombreux pays. Des chercheurs grecs ont réussi à injecter une souche de *Wolbachia* (obtenue à partir d'hémolymphe de la mouche à fruit *Rhagoletis cerasi*, infectée) induisant une incompatibilité cytoplasmique à *C. capitata*. La bactérie s'est propagée dans la population de laboratoire et de nombreux mâles infectés ont pu être produits. Ainsi, en inondant une population test avec des mâles porteurs de *Wolbachia*, ils ont réussi à diminuer la taille de cette population de *C. capitata* en laboratoire (Zabalou *et al.* 2004). Des recherches sont en cours afin d'évaluer le potentiel de cette nouvelle stratégie de stérilisation de ravageurs de cultures en conditions naturelles.

L'induction d'incompatibilité cytoplasmique par des ES peut aussi avoir un effet indirect sur un programme de lutte biologique par augmentation. Si le but est d'augmenter la population d'auxiliaires de lutte biologique naturellement présents dans un milieu donné, la présence de tels ES chez les individus élevés en masse et relâchés dans la nature pourrait empêcher tout croisement entre individus natifs et individus relâchés. De plus, la présence d'ES dans certaines souches de laboratoire d'agents de lutte biologique pourrait poser des problèmes lors d'échanges de matériel entre différents laboratoires ou site de production. En effet, un grand nombre d'échanges de matériel biologique ont lieu pour répondre aux demandes du marché mais aussi afin de rafraîchir les populations d'auxiliaires. La présence d'ES induisant une incompatibilité cytoplasmique, dans une des souches mises en contact, pourrait amener à une diminution importante de la population de laboratoire.

### Protection contre les stress abiotiques

Une protection contre des stress abiotiques peut être induite par des ES, augmentant ainsi la survie de leur hôtes dans certaines conditions environnementales. Un bon exemple est décrit chez la tique *Ixodes scapularis*, chez laquelle la bactérie pathogène *Anaplasma phagocytophilum* (l'agent de l'anaplasmose humaine) induit l'expression de protéines aux propriétés antigél, favori-

**Tableau 1 | Endosymbiotes et effets connus présents chez les espèces d'insectes et d'acariens utilisées comme agents de lutte biologique en Suisse ou chez le ravageur de culture qui lui est associé**

Espèce	Taxonomie	Endosymbiotes et effets connus
<i>Insecta</i>		
<i>Adalia bipunctata</i>	Coccinellidae, Coleoptera	W, R et S: mort sélective des mâle
<i>Anthocoris nemoralis</i>	Anthocoridae, Hemiptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Aphelinus abdominalis</i>	Aphelinidae, Hymenoptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Aphidius colemani</i> *	Braconidae, Hymenoptera	W: effet inconnu <b>Regiella insecticola: protège son hôte (puceron) contre A. colemani</b>
<i>Aphidius ervi</i> *	Braconidae, Hymenoptera	<b>Hamiltonella defensa: protège son hôte (puceron) contre A. ervi</b>
<i>Aphidoletes aphidimyza</i>	Cecidomyiidae, Diptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	Coccinellidae, Coleoptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Dacnusa sibirica</i>	Braconidae, Hymenoptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Diglyphus isaea</i>	Hymenoptera, Eulophidae	W: effet inconnu
<i>Encyrtus lecaniorum</i>	Encyrtidae, Hymenoptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Eretmocerus eremicus</i>	Hymenoptera (Aphelinidae)	Aucun ES connu à ce jour
<i>Eretmocerus mundus</i>	Hymenoptera (Aphelinidae)	W: induction de parthénogenèse
<i>Feltiella acarisuga</i>	Cecidomyiidae, Diptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Habrobracon hebetor</i>	Braconidae, Hymenoptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Lariophagus distinguendus</i>	Pteromalidae, Hymenoptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Leptomastidea abnormis</i>	Encyrtidae, Hymenoptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Leptomastix dactylopii</i>	Encyrtidae, Hymenoptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Macrolophus caliginosus</i>	Miridae, Heteroptera	W: induction d'incompatibilité cytoplasmique démontrée chez <b>Macrolophus pygmaeus</b> , une espèce souvent commercialisée sous le nom de <b>M. caliginosus</b> **
<i>Metaphycus helvolus</i>	Encyrtidae, Hymenoptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Orius insidiosus</i>	Anthocoridae, Hemiptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Orius laevigatus</i>	Anthocoridae, Hemiptera	W: effet inconnu
<i>Orius majusculus</i>	Anthocoridae, Hemiptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Pseudaphycus maculipennis</i>	Encyrtidae, Hymenoptera	Aucun ES connu à ce jour
<i>Trichogramma brassicae</i> Bezdenko	Hymenoptera (Trichogrammatidae)	W: induction de parthénogenèse
<i>Trichogramma cacoeciae</i>	Hymenoptera (Trichogrammatidae)	W: induction de parthénogenèse, diminution de la «fitness»
<i>Trichogramma evanescens</i>	Hymenoptera (Trichogrammatidae)	Aucun ES connu à ce jour
<i>Acarina</i>		
<i>Amblyseius californicus</i>	Phytoseiidae, Mesostigmata	Aucun ES connu à ce jour
<i>Amblyseius cucumeris</i>	Phytoseiidae, Mesostigmata	R*** : effet inconnu
<i>Amblyseius degenerans</i>	Phytoseiidae, Mesostigmata	Aucun ES connu à ce jour
<i>Amblyseius barkeri</i> (mackenziei)	Phytoseiidae, Mesostigmata	Aucun ES connu à ce jour
<i>Phytoseiulus persimilis</i>	Phytoseiidae, Mesostigmata	Aucun ES connu à ce jour
<i>Typhlodromips swirskii</i>	Phytoseiidae, Mesostigmata	R***: effet inconnu
<i>Hypoaspis aculeifer</i>	Laelapidae, Mesostigmata	S*** : effet inconnu
<i>Hypoaspis miles</i>	Laelapidae, Mesostigmata	C*** : effet inconnu
		S*** : effet inconnu

\*ES= endosymbiote, W= Wolbachia, R= Rickettsia, S= Spiroplasma. \*\*Machtelinckx T et al. (2009). \*\*\*Zindal et Aebi (données non publiées).

sant la survie des tiques à basse température (Neelakanta et al. 2010). Bien entendu, dans ce cas, la bactérie est un pathogène favorisant sa capacité vectorielle en influençant la survie de son hôte. Chez le puceron du pois *Acyrtosiphon pisum*, le symbiote *Serratia symbiotica* protège son hôte en cas de choc thermique en lui fournissant rapidement des métabolites essentiels provenant de sa propre lyse cellulaire (Burke et al. 2009). Au contraire, la présence de *Rickettsia* chez la mouche blanche *Bemisia tabaci* peut diminuer la résistance de cette dernière à certains pesticides (Kontsedalov et al. 2008).

### Protection contre des parasitoïdes hyménoptères

Des microbes peuvent interagir afin de protéger leur hôte contre ses ennemis naturels. La présence de quelques ES chez le puceron du pois protège ce dernier contre *Aphidius ervi*, un parasitoïde hyménoptère. Cet auxiliaire est utilisé dans le monde entier pour contrôler les populations de pucerons attaquant divers légumes et plantes ornementales. En 2003, des chercheurs américains ont démontré que les différences de résistances contre le parasitoïde chez différentes souches de pucerons étaient dues à différents niveaux d'infections par des ES secondaires (Oliver et al. 2003). Ils ont mis en évi- ➤

dence que les bactéries *Hamiltonella defensa* et *Regiella insecticola* induisent une résistance contre *A. ervi* en empêchant ses larves de se développer. Des études récentes ont montré que des toxines capables de tuer les larves étaient produites par *H. defensa* et le virus bactériophage qui lui est associé (Oliver *et al.* 2009). La présence de ces microbes peut donc influencer le taux de résistance des pucerons et considérablement influencer le succès d'un programme de lutte biologique utilisant *A. ervi* sur le terrain.

#### Protection contre des nématodes

Plusieurs espèces d'arthropodes sont attaquées par des nématodes. Par exemple, *Drosophila neotestacea* devient stérile si les femelles sont infectées par le nématode *Howardula aoronymphibium*. Récemment, il a été démontré que l'ES *Spiroplasma* confère une protection contre le nématode en assurant le développement de la plupart des œufs produits par des drosophiles femelles infectées. Au vu de l'avantage sélectif conféré par sa présence, *Spiroplasma* s'est rapidement propagée au sein de la population de *H. aoronymphibium* (Jaenike *et al.* 2010).

#### Protection contre des champignons entomo-pathogènes

Les champignons entomo-pathogènes tel que *Beauveria bassiana* infectent un grand nombre d'arthropodes. *Beauveria bassiana* est très utilisé comme auxiliaire de lutte biologique contre de nombreuses espèces d'insectes nuisibles appartenant à une grande variété d'ordres. Une étude de laboratoire sur la mouche à fruits *Drosophila melanogaster* a démontré que le nombre d'individus survivant à une infection par le champignon *B. bassiana* était trois fois supérieur en présence de l'ES *Wolbachia*. Les individus portant cet ES étaient donc protégés contre le champignon. De plus, la présence de l'ES était corrélée à une modification de la préférence de substrat d'oviposition et les mâles infectés jouissaient d'un meilleur succès reproductif (Panteleev *et al.* 2007).

#### Protection contre des virus

Plusieurs virus causent une mortalité importante chez les insectes. *Wolbachia* peut également modifier la résistance de son hôte contre ces agents pathogènes, utilisés eux aussi comme agents de lutte biologique. *Drosophila melanogaster* a été utilisée comme modèle pour l'étude de la résistance des arthropodes aux virus. Deux groupes de recherche ont indépendamment démontré une résistance induite par *Wolbachia* contre le virus «Drosophila C Virus», et trois virus ARN («Cricket Paralysis Virus», «Nora Virus» et «Flock House Virus» ; Hedges *et al.* 2008; Teixeira *et al.* 2008). A ce jour, les mécanismes de telles

inductions de résistance n'est pas connu. Il est très probable que de telles interactions entre bactéries symbiotiques et virus pathogènes soient courantes dans la nature, car les deux groupes de micro-organismes cohabitent dans l'espace intracellulaire.

## Conclusions

De nombreux facteurs biotiques et abiotiques peuvent affecter n'importe quel agent de lutte biologique ou arthropode nuisible, et de ce fait fortement influencer le succès d'un programme de lutte biologique.

La présence et les interactions entre microbes (bactéries et virus) au sein des arthropodes impliqués représentent probablement un des facteurs les plus variables et les plus sous-estimés. En effet, les ES sont connus pour i) pouvoir influencer la dynamique de population de leurs hôtes (agent de lutte biologique ou ravageurs de culture), ii) jouer un rôle dans l'évolution de résistances contre des agents de lutte biologique communément utilisés, iii) induire une résistance contre les pesticides et iv) modifier la tolérance de leurs hôtes à des conditions environnementales stressantes.

Nous suggérons donc d'inclure des études sur la présence et l'influence éventuelles d'ES dans le développement et la mise en œuvre de programmes de lutte biologique. Les microbes associés à des agents de lutte biologique sont considérés comme des contaminants qui pourraient influencer l'efficacité de l'agent de lutte biologique. La forte incidence des endosymbiontes décrits dans la littérature et la grande diversité des agents de lutte biologique suggèrent que les effets observés pour l'instant ne représentent que la pointe de l'iceberg. Le tableau 1 démontre que 41% des insectes et acariens utilisés dans des programmes de lutte biologique en Suisse sont infecté par un ou plusieurs ES et pour la moitié de ceux-ci (soit 21% des espèces utilisées), un effet décrit ci-dessus a été démontré. Pour ces raisons, nous encourageons la coopération entre les praticiens de lutte biologique et les scientifiques afin d'évaluer la présence d'ES qui pourrait affecter l'efficacité d'agent de lutte biologique positivement ou négativement. ■

## Riassunto

### Simbionti e artropodi – quali implicazioni per la lotta biologica?

La maggioranza degli artropodi vive in simbiosi con numerosi batteri. Alcuni di essi sono implicati nelle funzioni vitali dei loro ospiti, mentre altri non sono indispensabili e la loro presenza può avere un effetto neutro, positivo o negativo su nutrizione, riproduzione o sopravvivenza dei loro ospiti. Alcuni endosimbionti sono conosciuti per l'influenza che esercitano sulla strategia riproduttiva dei loro ospiti. Trasmessi verticalmente, questi batteri hanno sviluppato strategie differenti per favorire la riproduzione delle femmine infette rispetto a quelle non infette così da agevolare la loro propria trasmissione. Un'altra strategia per propagarsi in seno alla popolazione del proprio ospite è rendersi indispensabili per quest'ultimo. Proteggendolo contro determinati nemici naturali gli endosimbionti assicurano contemporaneamente la loro permanenza e propagazione in seno alla popolazione. Gli endosimbionti possono quindi influenzare significativamente il successo di un programma di lotta biologica. Il presente articolo spiega come gli endosimbionti possono agire sull'attuazione di un programma di lotta biologica, fornendo alcuni esempi pratici e illustrando come procedere per identificare i potenziali problemi legati alla loro presenza.

### Bibliographie

- Bigler F., Babendreier D. & Kuhlmann U., 2006. Environmental impact of invertebrates for biological control of arthropods: methods and risk assessment. CABI Publishing, Wallingford, 288 p.
- Burke G., Fiehn O. & Moran N., 2009. Effects of facultative symbionts and heat stress on the metabolome of pea aphids. *The ISME Journal* 4, 242–252.
- Hedges L. M., Brownlie J. C., O'Neill S. L. & Johnson K. N., 2008. Wolbachia and Virus Protection in Insects. *Science* 322, 702.
- Jaenike J., Unckless R., Cockburn S. N., Boelio L. M. & Perlman S. J., 2010. Adaptation via symbiosis: recent spread of a *Drosophila* defensive symbiont. *Science* 329, 212–215.
- Kontsedalov S., Zchori-Fein E., Chiel E., Gottlieb Y., Inbar M. & Ghanim M., 2008. The presence of Rickettsia is associated with increased susceptibility of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) to insecticides. *Pest Management Science* 64, 789–792.
- Machtelinckx T., Van Leeuwen T., Vanholme B., Gehesquiere B., Dermauw W., Vandekerckhove B., Gheysen G. & De Clercq P., 2009. Wolbachia induces strong cytoplasmic incompatibility in the predatory bug *Macrolophus pygmaeus*. *Insect Molecular Biology* 18 (3), 373–381.
- Neelakanta G., Sultana H., Fish D., Anderson J. F. & Fikrig E., 2010. *Anaplasma phagocytophilum* induces *Ixodes scapularis* ticks to express an antifreeze glycoprotein gene that enhances their survival in the cold. *The Journal of Clinical Investigation* 120, 3179–3190.
- Oliver K. M., Russell J. A., Moran N. A. & Hunter M. S., 2003. Facultative bacterial symbionts in aphids confer resistance to parasitic wasps. *Pro-*

## Summary

### Symbionts and arthropods – potential implications for biological control

Most arthropod species live in association with numerous bacteria. Their interactions can have different outcomes. While some bacteria are crucial for their host's survival, others are facultative and their presence can have a negative, positive or neutral effect on the nutrition, reproduction or survival of their host. Some endosymbionts (such as *Wolbachia* for example) are known as reproduction manipulators. Vertically transmitted, these bacteria developed several strategies (such as parthenogenesis induction, cytoplasmic incompatibility) to increase the transmission of infected females in their host population, in comparison to un-infected females. Another way to ensure its propagation is to become crucially needed by its host. By protecting their host against natural enemies such as hymenopteran parasitoids, nematodes, entomopathogenic fungi, bacteria or viruses, endosymbionts achieved this goal. Endosymbionts may then greatly influence biological control programs. These influential house mates may not only affect the rearing of beneficial arthropods (by altering their reproduction mode) but also influence their interactions with target crop pest species (by inducing resistances for example). This paper explains how endosymbionts may influence biological control and provides practical examples and a protocol to follow to identify problems associated to their presence.

**Key words:** symbiont, arthropod, biological control.

*ceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100, 1803–1807.

- Oliver K. M., Degnan P. H., Hunter M. S. & Moran N. A., 2009. Bacteriophages Encode Factors Required for Protection in a Symbiotic Mutualism. *Science* 325, 992–994.
- O'Neill S. L., Hoffmann A. A. & Werren J. H., 1997. *Influential Passengers*. Oxford University Press Inc., New York, USA, 214 p.
- Pantelev D. Y., Goryacheva I. I., Andrianov B. V., Reznik N. L., Lazebny O. E. & Kulikov A. M., 2007. The endosymbiotic bacterium *Wolbachia* enhances the nonspecific resistance to insect pathogens and alters behaviour of *Drosophila melanogaster*. *Russian Journal of Genetics* 43, 1066–1069.
- Teixeira L., Ferreira A. & Ashburner M., 2008. The Bacterial Symbiont *Wolbachia* Induces Resistance to RNA Viral Infections in *Drosophila melanogaster*. *PLoS Biology* 6, 2753–2763.
- Weinert L. A., Tinsley M. C., Temperley M. & Jiggins F. M., 2007. Are we underestimating the diversity and incidence of insect bacterial symbionts? A case study in ladybird beetles. *Biology Letters* 3, 678–681.
- Zabalou S., Riegler M., Theodorakopoulou M., Stauffer C., Savakis C. & Bourtzis K., 2004. *Wolbachia*-induced cytoplasmic incompatibility as a means for insect pest population control. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101, 15042–15045.
- Zindel R., Gottlieb Y. & Aebi A., 2011. Arthropod symbiosis, a neglected parameter in pest and disease control programs. *Journal of Applied Ecology* 48, 864–872.