

Les conquêtes de l'inra pour le biocontrôle. Dossier de presse. Des plantes à tannins pour lutter contre des vers parasites des chèvres et moutons

Vincent Niderkorn

▶ **To cite this version:**

Vincent Niderkorn. Les conquêtes de l'inra pour le biocontrôle. Dossier de presse. Des plantes à tannins pour lutter contre des vers parasites des chèvres et moutons. [Interne] 2018. hal-02790310

HAL Id: hal-02790310
https://hal.inrae.fr/hal-02790310

Submitted on 5 Jun 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.

LES CONQUÊTES DE L'INRA POUR LE BIOCONTRÔLE

INRA
SCIENCE & IMPACT

PRESSE
Dossier



DES ODEURS POUR LUTTER
CONTRE LES RAVAGEURS 4/9

LES MACRO-ORGANISMES :
DES ALLIÉS DE TAILLE 10/17

UNE PANOPLIE
DE MICRO-ORGANISMES PROTECTEURS 18/22

LES SUBSTANCES NATURELLES
BÉNÉFIQUES 23/25

LES VIGNOBLES SOUS BONNE GARDE 26/28

LES INITIATIVES AUTOUR
DU BIOCONTRÔLE PILOTÉES PAR L'INRA 29

CONTACTS SCIENTIFIQUES 30/31

LES CONQUÊTES DE L'INRA POUR LE BIOCONTRÔLE

Lancé à l'occasion du Grenelle de l'environnement de 2007, le plan Ecophyto a pour objectif de réduire de moitié le recours aux produits phytopharmaceutiques en France, à l'horizon 2025. Certaines des substances jugées préoccupantes ont déjà été retirées du marché et d'autres, à l'instar du glyphosate ou des néonicotinoïdes, le seront dans les années à venir. C'est une excellente nouvelle pour l'environnement comme pour notre santé. Mais ça n'est pas sans conséquence pour l'ensemble des filières agricoles.

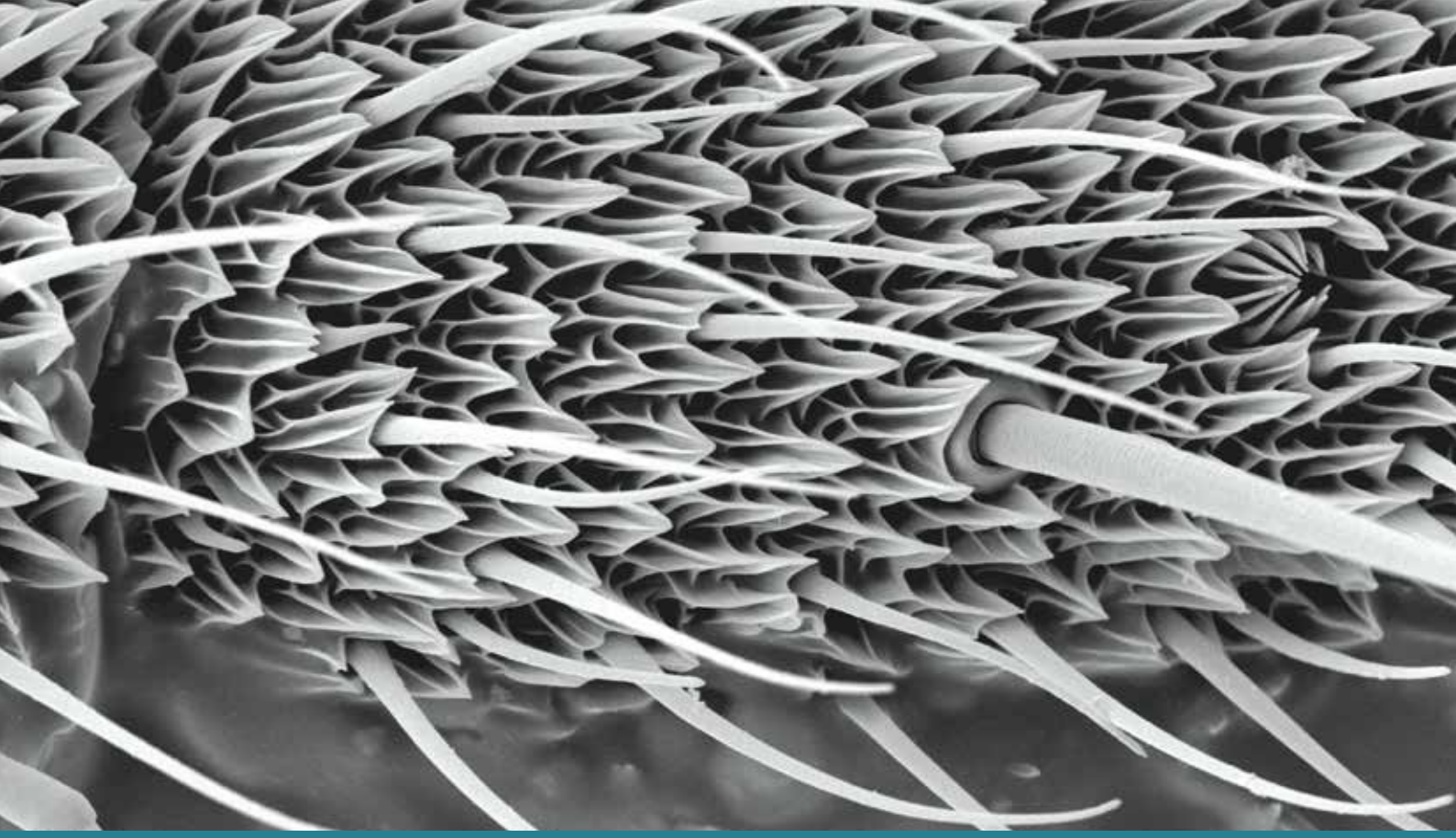
En effet, par quoi va-t-on remplacer les produits phytosanitaires pour protéger les cultures des bioagresseurs qui les menacent ? Ne risque-t-on pas de voir ressurgir des maladies ou des insectes phytophages jusqu'alors efficacement contrôlés ? Et comment lutter contre les nouvelles espèces envahissantes venues du bout du monde et qui se répandent à toute vitesse sur notre territoire ?

Pour faire face à ces immenses défis, l'Inra est en première ligne. Et parmi les stratégies mises en œuvre pour y répondre, le biocontrôle figure en tête de liste. Le biocontrôle, c'est un ensemble de méthodes de protection des cultures basées sur l'utilisation d'organismes vivants ou de substances naturelles. Les produits de biocontrôle sont classés en quatre catégories : les macro-organismes (principalement insectes, nématodes, acariens...), les micro-organismes (virus, bactéries, champignons...), les médiateurs chimiques tels que les phéromones et enfin les substances naturelles d'origine minérale, végétale ou animale.

L'Inra n'a pas attendu Ecophyto pour s'intéresser au biocontrôle. Depuis plusieurs décennies, les chercheurs mènent des travaux sur les interactions entre les plantes et leurs ravageurs. Ils développent des méthodes de lutte qui, utilisées seules ou dans le cadre d'une stratégie de contrôle globale, jouent un rôle croissant dans la protection des cultures. Et l'Institut est à l'origine d'innovations qui sont utilisées dans le monde entier, telles que la confusion sexuelle à l'aide de phéromones.

En tant qu'organisme public de recherche finalisée, l'Inra s'associe à des partenaires privés pour mettre au point des solutions de biocontrôle et étudie leurs impacts sur la santé et l'environnement. L'Institut propose également des pistes pour aménager les paysages agricoles, en vue de favoriser le développement ou la conservation des auxiliaires de cultures, alliés précieux en agriculture.

SERVICE DE PRESSE | 01 42 75 91 86 | presse@inra.fr



DES ODEURS POUR LUTTER CONTRE LES RAVAGEURS

Une antenne du papillon *Spodoptera littoralis* vue au microscope électronique. Les expansions visibles sont les « nez miniatures » de l'insecte ou « sensilles olfactives » qui abritent les neurones olfactifs.
© Inra - C. Monsempes & M-C. François

DANS LE CADRE DU BIOCONTRÔLE, LES CHERCHEURS S'INTÉRESSENT DE PRÈS AUX ODEURS. CELLES ÉMISES PAR LES PLANTES D'ABORD, PUISQUE CE SONT ELLES QUI PERMETTENT AUX INSECTES RAVAGEURS DE LES REPÉRER DANS LE PAYSAGE ET DE LES COLONISER. CELLES ÉMISES PAR LES INSECTES ENSUITE, ET NOTAMMENT PAR LES FEMELLES POUR ATTIRER LES MÂLES LORS DE LA REPRODUCTION. CES ODEURS SE NOMMENT PHÉROMONES LORSQU'ELLES CONCERNENT LES ÉCHANGES ENTRE INDIVIDUS APPARTENANT À LA MÊME ESPÈCE. ON PARLE DE SUBSTANCES ALLÉLOCHIMIQUES POUR DÉCRIRE LES ÉCHANGES ENTRE INDIVIDUS D'ESPÈCES DIFFÉRENTES, ET PLUS PRÉCISÉMENT DE KAIROMONES, LORSQUE CES SUBSTANCES PROFITENT À CELUI QUI REÇOIT LE MESSAGE.

DEPUIS PLUS DE 40 ANS, L'INRA ÉTUDIE L'ÉCOLOGIE CHIMIQUE DES INSECTES RAVAGEURS DES CULTURES ET MET AU POINT DES STRATÉGIES DE BIOCONTRÔLE QUI IMPLIQUENT L'UTILISATION DES PHÉROMONES ET KAIROMONES POUR LUTTER CONTRE CES INSECTES, EN AGISSANT SUR LEURS COMPORTEMENTS, OU POUR PERTURBER LEUR CYCLE DE REPRODUCTION.



Noctuelle du coton, *Spodoptera littoralis*. © Inra - E. Jacquin-Joly

Des récepteurs olfactifs dans le viseur

L'écologie, c'est la science qui étudie les interactions entre les individus partageant un même milieu. L'écologie chimique, quant à elle, est un domaine essentiel du biocontrôle et consiste notamment à identifier les molécules odorantes qui déclenchent une réaction chez un insecte ciblé. Mais travailler sur le vivant est un processus long, coûteux et délicat à mettre en œuvre. Il faut en effet élever les insectes, analyser leur comportement et tester une par une toutes les molécules susceptibles de provoquer une réaction, qu'il convient alors d'interpréter. Financé par l'Agence nationale de la recherche, le projet Demeter s'intéresse aux médiateurs chimiques qui peuvent être utilisés dans la lutte contre les bioagresseurs, en se focalisant sur les récepteurs olfactifs de l'insecte. Grâce à la mise en place d'une stratégie qui combine la modélisation informatique et l'expérimentation *in vitro*, il est possible de proposer de nouvelles molécules actives sur ces récepteurs, réduisant le spectre des possibles à tester avec des expériences d'étude du comportement. Cette approche est développée chez un papillon bioagresseur, la noctuelle *Spodoptera littoralis*, dont l'inventaire des récepteurs olfactifs a été établi grâce au séquençage de son génome. En résumé, c'est de l'écologie chimique inversée ! Le principal atout de ce « criblage virtuel », c'est non seulement sa rapidité, puisqu'on ne va tester ensuite expérimentalement que les molécules potentiellement efficaces, mais aussi son exhaustivité. Par exemple, en ciblant un récepteur olfactif à l'aide d'une grande variété de molécules odorantes, les chercheurs de l'Inra augmentent leurs chances d'identifier un agoniste (c'est-à-dire une substance ayant un effet identique) plus attractif que la phéromone produite naturellement par la femelle (idéal pour piéger les mâles) ou au contraire un répulsif particulièrement puissant. Des molécules qui pourront, une fois leur efficacité démontrée expérimentalement, être utilisées dans le cadre de la lutte par *bio-olfacticides*, produits ciblant les récepteurs olfactifs.



Spodoptera littoralis.
© Inra - E. Jacquin-Joly

Qu'est-ce que ça sent ?

Comment un insecte ravageur utilise-t-il ses récepteurs olfactifs pour identifier la plante la plus adaptée à sa survie et sa reproduction ? C'est ce qu'ont cherché à déterminer des scientifiques de l'Inra en collaboration avec des partenaires académiques. Pour mener à bien leurs recherches, ils se sont intéressés au papillon de nuit *Spodoptera littoralis*. Non seulement parce que sa chenille polyphage est un redoutable ennemi des cultures (coton, tomate, maïs, légumes...) mais aussi parce qu'elle est facile à élever et déjà bien connue des biologistes. En analysant la réaction de 35 de ses récepteurs olfactifs à une grande variété de molécules odorantes, ils sont parvenus à identifier les odeurs auxquelles certains d'entre eux se révélaient sensibles. Et sans grande surprise, ce sont en premier lieu les composés émis par les plantes que mangent les chenilles et par les fleurs qui recèlent le nectar dont se nourrissent les adultes. L'important ici est d'avoir découvert les récepteurs olfactifs impliqués, comme cibles clefs pour la recherche de *bio-olfacticides*. Mais l'examen de ces répertoires de récepteurs apporte aussi des connaissances fondamentales sur les processus évolutifs qui font que les espèces ont une adaptation sensorielle à leur mode de vie, leur alimentation, ou sur le temps d'adaptation à un nouvel hôte. Les chercheurs ont ainsi découvert que certains de ces récepteurs montrent une évolution récente. Et quel rapport avec le biocontrôle ? Eh bien, si l'on identifie un récepteur aux phéromones dont l'évolution est très rapide, on hésitera à développer un piège qui l'exploite. Et pour cause, l'insecte pourra, dans un mécanisme de défense, modifier ce récepteur et établir un nouveau système de communication qui lui permettra d'éviter le danger !

Chenille de *Spodoptera littoralis.*
© Inra - E. Jacquin-Joly



Le carpocapse, accro à l'ester

Le carpocapse des pommes et des poires *(Cydia pomonella)* est, pendant son stade larvaire, l'un des plus dangereux papillons ravageurs des vergers. La carpovirusine, un bio-insecticide, est utilisée avec succès depuis plusieurs années pour éliminer les larves. Mais afin d'améliorer encore l'efficacité du contrôle, il est essentiel de s'attaquer à tous les stades du développement du ravageur. En caractérisant les récepteurs olfactifs de ce papillon (on en compte entre 60 et 70, situés dans les antennes), les chercheurs de l'Inra ont identifié celui qui se révèle sensible à l'ester de poire, une kairomone émise notamment par les poires et les pommes. Une information précieuse pour les chercheurs qui pourraient cibler ce récepteur pour perturber l'attraction des femelles vers les fruits, en association avec le piégeage ou la confusion des mâles par phéromone sexuelle. Ce récepteur nous en apprend également beaucoup sur l'origine des récepteurs aux phéromones sexuelles qui auraient évolué à partir de récepteurs aux kairomones. En effet, le récepteur à l'ester ressemble beaucoup à ces récepteurs aux phéromones, comme un vestige de leur fonction première.



Dégâts de la chenille du carpocapse sur pomme.
À droite un trou récent de pénétration de larve, qui se remarque par l'accumulation de déjections.
A gauche l'attaque plus ancienne d'une autre larve. © Inra - B. Sauphanor

Quel goût ça a ?

L'insecte utilise son odorat pour repérer et se diriger vers sa nourriture. Mais ce qui détermine son choix de se nourrir, c'est le goût ! Si l'insecte n'aime pas, eh bien, il ne mange pas. Bien que moins avancée que les recherches sur les récepteurs olfactifs, l'étude des récepteurs gustatifs offre des perspectives très prometteuses pour des applications de biocontrôle. Au sein d'un consortium international, des chercheurs de l'Inra ont déjà montré qu'ils sont bien plus nombreux chez les insectes polyphages que chez les monophages ou oligophages. Il semblerait que cette capacité à détecter des goûts variés soit en lien avec ce comportement alimentaire. Prochaine étape : identifier ces récepteurs gustatifs et les molécules qui entraînent une réaction de rejet de la part de l'insecte et sont donc susceptibles d'être utilisées comme agent répulsif, tels les phytoecdystéroïdes des fougères...

... DES MOLÉCULES COUPE-FAIM POUR LES CHENILLES

Il y a une centaine d'années, le jus de fougère était utilisé comme insecticide et les scientifiques en comprennent aujourd'hui la raison. La plupart des fougères sont riches en phytoecdystéroïdes, des molécules de défense de la plante qui, chez les insectes, sont capables d'agir comme une hormone spécifique (l'ecdysone) qui régule la mue des larves d'insectes. Les molécules de cette famille des phytoecdystéroïdes sont très nombreuses et l'une d'entre elle (la 20-hydroxyecdysone) est bien connue car elle bloque la mue, inhibe la prise de nourriture des chenilles ainsi que la reproduction de nombreux insectes. Des chercheurs de l'Inra sont parvenus à mettre en évidence - notamment chez la pyrale du maïs - des récepteurs gustatifs aux phytoecdystéroides. Si elles sont homologuées, ces molécules phytoecdystéroïdes pourraient être utilisées comme anti-appétants contre les insectes.

D'autres travaux, dans le même domaine, ont été menés à l'Inra sur les récepteurs gustatifs des ravageurs de la vigne que sont les vers de grappe (eudémis). Ils ont permis de caractériser sur les pattes et l'ovipositeur (organe impliqué dans le dépôt des œufs) des insectes des récepteurs gustatifs, en particulier vis-à-vis du fructose et d'autres sucres. Chez les insectes attaquant les fruits - comme le carpocapse, l'eudémis, la cochylis - la perception du fructose est probablement très importante car le fructose est un bon marqueur de maturité du fruit.

La bruche de la féverole

Cultivée en France notamment pour fournir la farine de fève destinée essentiellement à l'export (Egypte, Afrique du nord...), la féverole a subi de plein fouet les conséquences du plan Ecophyto. Désormais sans pesticide pour la contrôler, la bruche de la féverole *(Bruchus rufimanus)*, un petit coléoptère dont la femelle pond ses œufs dans les gousses en formation, peut détruire jusqu'à 50 % de la production. Au point de pousser certains exploitants à jeter l'éponge ! Mais la situation pourrait rapidement s'améliorer. Les chercheurs ont en effet identifié deux composés attractifs produits par la plante. Le premier, localisé dans la fève, attire les femelles déjà fécondées. Le second, produit par la fleur, indique à l'insecte qui hiverne hors de la parcelle, où trouver de nouvelles féveroles. Des pièges expérimentaux exploitant ces attractifs ont déjà montré leur efficacité pour capturer les insectes avant qu'ils ne s'en prennent aux plantes. Ces découvertes ont fait l'objet d'un brevet, et une start-up, AgriOdor, est en cours de création avec pour objectif de développer de nouvelles solutions de biocontrôle à base d'attractifs ou de répulsifs produits par les plantes. Les travaux se poursuivent, notamment pour porter la durée d'efficacité des pièges et des diffuseurs à trois semaines contre une aujourd'hui.



Bruche de la féverole ou *Bruchus rufimanus*. © Inra - R. Hamidi



Pyrale du buis *(Cydalima perspectalis)*. © Inra - F. Suffert

Stop aux mauvaises odeurs !

Les études menées sur la bruche de la féverole, et précédemment sur la pyrale du maïs, ont permis aux chercheurs de l'Inra d'identifier les composés clés à l'origine des relations entre l'insecte et la plante qu'il parasite. Des informations primordiales pour les généticiens qui peuvent ainsi sélectionner des plantes dépourvues des gènes qui contrôlent la bio-synthèse des composés attractifs et qui sont donc indécelables pour leurs prédateurs.



Larve de pyrale de maïs.
© Inra - B. Frérot

Comment reproduire une phéromone ?

Certains chercheurs de l'Inra sont de véritables maîtres parfumeurs. Leur spécialité, c'est la reproduction de phéromones et kairomones. Une tâche qui exige une grande précision parce que ces substances sont diablement complexes. On y trouve toujours un composé majoritaire, plutôt facile à reproduire, mais aussi deux ou trois composés présents en très faible proportion. Or, ceux-là sont tout aussi indispensables pour provoquer un comportement chez l'insecte. D'autant que la bestiole est tatillonne, ses exigences quant à la qualité du produit et la dose qu'elle doit percevoir sont très précises. Une fois les composés identifiés, des chimistes se chargent de les synthétiser. Ces substances seront enfin déposées dans les bonnes proportions, sur les dispositifs de diffusion, soit dans le cadre d'un piégeage de masse, soit pour induire une confusion sexuelle chez l'insecte ciblé.

Contre la pyrale du buis : SaveBuxus

Le buis, plante emblématique des jardins publics et patrimoniaux, et largement présente dans le milieu naturel, est en grave danger. En cause, la pyrale du buis *(Cydalima perspectalis)*, un papillon nocturne originaire d'Asie centrale, introduit fortuitement à la fin des années 2000. Les dégâts que causent les chenilles sont considérables. En effet, trois jours suffisent à défolier totalement un arbuste qui, bien que robuste, finit par dépérir, d'autant que trois générations de larves peuvent se succéder en une année. En forêt, les conséquences, quoique moins visibles, sont tout aussi préoccupantes car les buxaies constituent un habitat privilégié pour certaines espèces et les racines du buis sont souvent essentielles pour maintenir les sols ou les blocs rocheux. Les projets SaveBuxus I (2014-2017) puis SaveBuxus II (2018-2020) ont pour objectif de concevoir des solutions de biocontrôle contre la pyrale, en ciblant tous les stades de son développement. Et notamment les adultes, par le biais du piégeage et de la confusion sexuelle. Si l'élimination totale de ce nouvel agresseur est désormais illusoire, l'usage conjoint des différentes solutions de biocontrôle pourrait permettre de maintenir sa nuisance à un niveau acceptable.



Pyrale du buis *(Cydalima perspectalis)*.
© Inra - F. Suffert

Buxatrap

Conçu et développé par l'Inra en collaboration avec la société SanSan (un brevet d'invention a d'ailleurs été déposé), Buxatrap est un piège à double-emploi à la mise en œuvre volontairement simplifiée pour être utilisable aussi bien par les professionnels que les particuliers. Il peut être employé comme outil de *monitoring* et de piégeage de masse des mâles de la pyrale. Il a montré ses excellentes performances sur ce ravageur. Commercialisé par la société Koppert, il consiste en une cuve de plastique vide surmontée d'un réceptacle dans lequel on place le premier diffuseur contenant la phéromone. Attirés par l'odeur, les papillons pénètrent et stationnent dans la cuve grâce à un deuxième diffuseur de phéromone. Ils ne peuvent en ressortir et meurent d'épuisement. La phéromone exerce son pouvoir attractif sur une surface d'environ 100 à 500 m^2 pendant plusieurs mois. Conçu dans le cadre du projet SaveBuxus, Buxatrap est désormais utilisé avec la même efficacité pour la lutte contre les chenilles processionnaires du pin et du chêne... avec évidemment les phéromones adaptées à ces agresseurs.



Buxatrap et pyrales.
© Inra - J.C. Martin

TOUS AUX ABRIS !



© Inra - A. Lefèvre

La culture maraîchère sous abri basée sur le biocontrôle n'est pas de tout repos. Dans ces environnements où se succèdent plusieurs cultures de différentes espèces au cours d'une même année, l'exploitant doit surveiller attentivement l'état sanitaire de ses cultures. En effet, dans un lieu aussi confiné, il est primordial d'identifier au plus tôt la présence d'un ravageur et de réagir très rapidement, souvent dans les 48 heures, sous peine de perdre une partie de la production. Pour les aider dans leur prise de décision, les chercheurs de l'Inra mènent des expérimentations dans des abris comparables aux leurs. Confrontés aux mêmes situations et notamment aux attaques de bioagresseurs (insectes, champignons, virus...), ils discutent avec les maraîchers des méthodes qu'ils ont suivies pour régler un problème. En insistant sur le fait qu'il ne suffit pas d'additionner les leviers. Il convient aussi de savoir lesquels utiliser (auxiliaires, produits de biocontrôle issus de micro-organismes, substances naturelles, interventions physiques sur les plantes...), à quel moment, et en tenant compte des interactions possibles entre les différentes actions. Pas toujours facile pour des maraîchers dont l'activité génère une charge de travail quotidienne souvent considérable.



Chenilles processionnaires.
© Inra - J.C. Martin

LES CHENILLES PROCESSIONNAIRES

Qui ne s'est pas étonné à la vue de ces longs rubans de chenilles se déplaçant en file indienne sur le sol ou le tronc des arbres ? On pourrait presque s'émerveiller d'un tel comportement, si les processionnaires n'étaient d'aussi dangereux bioagresseurs. Pour l'arbre d'abord, puisque les chenilles se nourrissent, selon les espèces, des aiguilles des pins et cèdres ou des feuilles des chênes. Cette importante défoliation entraine un affaiblissement de l'arbre et un ralentissement de sa croissance, même si l'issue est rarement fatale. Mais surtout, les chenilles libèrent dans l'air des soies urticantes, très allergènes, qui peuvent causer démangeaisons, troubles oculaires et jusqu'à de graves difficultés respiratoires. Les animaux ne sont pas à l'abri, les chiens notamment qui, en léchant leur fourrure ou au contact avec une procession au sol, peuvent développer des œdèmes et une nécrose de la langue. Autant dire que la lutte contre la chenille processionnaire constitue un véritable enjeu de santé publique. L'Inra, qui explore depuis de nombreuses années toutes les pistes permettant de contrôler le développement de ces insectes, a mis au point des méthodes de lutte efficaces et novatrices, basées notamment sur l'utilisation des phéromones.

DES BONS USAGES DES PHÉROMONES

L'utilisation des phéromones pour contrôler les populations de bioagresseurs repose sur trois leviers principaux : le *monitoring*, le piégeage de masse et la confusion sexuelle. Dans le cas du *monitoring*, l'objectif n'est pas tant d'éliminer la menace que de contrôler son évolution afin de déterminer où et quand agir. Ainsi, des pièges disséminés dans des endroits stratégiques permettent de détecter les premiers vols des papillons et l'évolution des populations au cours de la saison de reproduction. Au contraire, le piégeage de masse consiste à attirer un maximum de papillons mâles afin de les supprimer et réduire ainsi la descendance. Enfin, la confusion sexuelle vise à saturer l'air de phéromones, dans le but de désorienter l'insecte et de l'empêcher d'atteindre la femelle. Cette méthode est particulièrement efficace dans le cadre de la lutte contre les processionnaires car la durée de vie du papillon mâle n'est que d'une journée.

PROCEREX

Voilà un piège très efficace aujourd'hui pour capturer les papillons processionnaires du pin. Conçu et breveté par l'Inra, Procerex utilise une capsule de phéromones pour attirer les mâles vers un récipient opaque contenant un mélange d'eau et d'huile végétale (pour éviter l'évaporation). Six dispositifs suffisent pour couvrir un hectare, dans le cadre du piégeage de masse. La phéromone agit durant 10 à 12 semaines, ce qui correspond à l'ensemble de la période de vol du papillon. Des expérimentations menées en 2017 ont montré que la terre de diatomée (une roche formée de « squelettes » de diatomées qui sont des algues unicellulaires) mise au fond du piège pouvait remplacer le mélange eau et huile végétale, facilitant ainsi l'usage de ce modèle de piège.

Usage de paint ball contre la processionnaire.
© Inra - J.C. Martin



LE CUPIDON DE LA PROCESSIONNAIRE

Tous les moyens sont bons pour lutter contre la processionnaire du pin, y compris les plus originaux. Par exemple l'usage de pistolets de paintball. Développée par l'Inra en partenariat avec M2i Life Sciences, cette méthode consiste à propulser sur le tronc des arbres, à une hauteur de six à neuf mètres, des billes biodégradables contenant un gel chargé de phéromones microencapsulées dans de la cire d'abeille. Bref, semer la confusion sexuelle dans les rangs des papillons. Trois cents billes de «phero-balls» par hectare ou 30 billes pour un arbre isolé sont nécessaires pour saturer l'air de phéromones durant quatre mois et ainsi réduire considérablement les chances pour le mâle de repérer la femelle.

SERVICE DE PRESSE I 01 42 75 91 86 I presse@inra.fr



Trichogramma dendrolimi mâle avec soies importantes au niveau des antennes.
© Inra - P. Bolland

LES MACRO-ORGANISMES : DES ALLIÉS DE TAILLE

LES MACRO-ORGANISMES SONT LES AGENTS DE BIOCONTRÔLE LES PLUS RÉPANDUS ET LEUR EFFICACITÉ SE RÉVÈLE PARFOIS COMPARABLE À CELLE DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES. CERTAINS, TELS LES TRICHOGRAMMES, PARASITENT LES ŒUFS DES RAVAGEURS, D'AUTRES, COMME LES NÉMATODES, S'EN PRENNENT AUX LARVES TANDIS QUE LES CHAUVES-SOURIS DÉVORENT L'INSECTE ADULTE. CES VALEUREUX AUXILIAIRES SONT MIS À PROFIT DE TROIS MANIÈRES DIFFÉRENTES. LA LUTTE PAR ACCLIMATATION, APPARUE À LA FIN DU XIX^{E} SIÈCLE, CONSISTE À INTRODUIRE UN AUXILIAIRE EXOTIQUE DE FAÇON DURABLE, AFIN DE LUTTER CONTRE UN RAVAGEUR SOUVENT ORIGINAIRE DE LA MÊME RÉGION. DANS LE CAS DE LA LUTTE PAR AUGMENTATION, DES AUXILIAIRES SONT RELÂCHÉS DANS LES CULTURES DANS LE BUT DE CONTRÔLER LES BIOAGRESSEURS DURANT UNE PÉRIODE DONNÉE. ENFIN, LA LUTTE BIOLOGIQUE PAR CONSERVATION S'ATTACHE À AMÉNAGER LE PAYSAGE OU À MODIFIER LES PRATIQUES CULTURALES AFIN DE FAVORISER LE DÉVELOPPEMENT ET LE MAINTIEN DES ENNEMIS NATURELS DES RAVAGEURS.



Trichogramma brassicae.
© Inra - J.C. Malausa

LA LUTTE PAR AUGMENTATION

DE PRÉCIEUSES MICRO-GUÊPES : LES TRICHOGRAMMES

Ne vous fiez pas à leur taille minuscule, les trichogrammes constituent de puissants alliés dans la lutte contre les ravageurs. Ces micro-guêpes, mesurant souvent moins d'un millimètre de long, sont des parasitoïdes oophages : leurs larves se développent à l'intérieur des œufs d'autres insectes qui en meurent rapidement. Par leur action, ils entravent notamment le développement des chenilles des lépidoptères très voraces et donc très néfastes pour les végétaux. À l'Inra, cela fait plus de 40 ans que les chercheurs étudient ces précieux auxiliaires et développent des techniques innovantes pour permettre leur utilisation dans une stratégie de biocontrôle.

Une collection de trichogrammes unique au monde

Le Centre de ressources biologiques EP-Coll (en anglais *Egg Parasitoids collection*) géré par l'Inra, est dédié à l'étude des parasitoïdes oophages à des fins de recherche et développement en biocontrôle ou à des recherches plus académiques associées. Cette structure, unique au monde, met à disposition de la communauté scientifique internationale, des souches de trichogrammes de différentes espèces, origines et fonds génétiques. Plus d'une centaine de souches y sont maintenues vivantes. Les chercheurs entretiennent également de nombreux « produits dérivés » pour des travaux de caractérisation intégrative tels que des insectes conservés dans de l'alcool, de l'ADN, ou encore des montages d'exosquelettes. EP-Coll va permettre notamment de compléter les connaissances sur la diversité des trichogrammes ainsi que sur leurs distributions géographiques et écologiques. À partir des ressources disponibles, EP-Coll contribue aussi au développement de projets d'améliorations génétiques d'agents de biocontrôle.



Trichogramma mâle.
© Inra - J.Y. Rasplus

L'exemple emblématique du biocontrôle de la pyrale du maïs

> « **150 000** HA SUR LES **500 000** HA DE MAÏS TRAITÉS CONTRE *OSTRINIA NUBILALIS* EN FRANCE, LE SONT DÉSORMAIS GRÂCE AUX TRICHOGRAMMES. »



Chenille de la pyrale du maïs.
© Inra - C. Buisson

La chenille de la pyrale *Ostrinia nubilalis* cause d'importants dommages aux cultures de maïs. Dès le milieu des années 1970, l'Inra a identifié un trichogramme *(Trichogramma brassicae)* capable de localiser, parasiter et finalement tuer les œufs de pyrale, en vue de remplacer efficacement les insecticides chimiques. Mais il aura fallu plus d'une dizaine d'années de recherche, menées en collaboration avec la start-up Biotop (aujourd'hui société Bioline AgroSciences du groupe In Vivo) pour développer une solution efficace et économiquement compétitive. Dix ans durant lesquels les chercheurs vont s'attacher à mettre au point un procédé de production de masse des trichogrammes, des techniques de stockage et des stratégies de lâchers optimisées. Les premiers essais menés au cours des années 80 se sont révélés très concluants, la micro-guêpe se montrant aussi efficace que les produits phytosanitaires pour contrôler le bioagresseur. Seul bémol, son utilisation s'est révélée plus contraignante qu'un pesticide, notamment parce que trois lâchers se sont avérés nécessaires au cours de la saison. Désormais, un seul lâcher suffit grâce à la mise au point de diffuseurs biodégradables munis de quatre réservoirs qui s'ouvrent à intervalles réguliers. Selon les cas, ils peuvent être disposés manuellement dans les parcelles, ou largués par drone ou hélicoptère.

Améliorer le vivant

Après plus de 30 ans de bons et loyaux services, les souches historiques de *Trichogramma brassicae* ont été remplacées par des souches plus efficaces. Pour parvenir à ce résultat, les chercheurs de l'Inra, en partenariat avec Bioline AgroSciences, ont caractérisé, sur des bases moléculaires, de nombreuses souches prélevées dans toute l'Europe. À partir d'un mélange de certaines souches françaises, ils se sont ensuite attachés à créer des lignées originales, potentiellement meilleures que le produit commercialisé jusque-là. Ce processus d'amélioration génétique emploie les mêmes leviers que ceux utilisés dans l'élevage ou la botanique. Par exemple l'hybridation, qui consiste à mélanger des génotypes dans l'espoir d'obtenir un nouveau caractère intéressant dans la descendance. Les nouveaux candidats ont été évalués en laboratoire puis sur le terrain en comparaison avec les souches historiques, ce qui a permis d'isoler plusieurs lignées particulièrement performantes. Ces nouvelles souches sont actuellement commercialisées par Bioline Agrosciences.



Granulés contenant des œufs de trichogrammes.
© Inra - C. Slagmulder

QUAND LE BIOCONTRÔLE SE MET AU VER

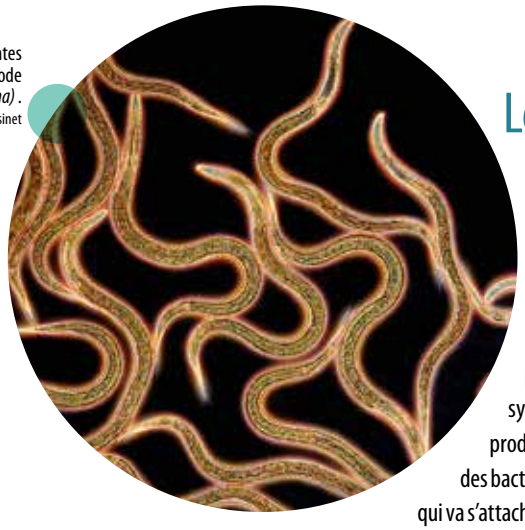
Les nématodes entomopathogènes sont des vers microscopiques qui se développent et se multiplient exclusivement aux dépens des insectes. Présents dans les sols jusqu'à une profondeur de 80 cm, ils attendent immobiles qu'un hôte passe à leur portée ou se déplacent pour l'atteindre. Leur mode d'action est fascinant. Après s'être introduits dans le tube digestif des larves, ils libèrent dans le sang des insectes des bactéries (symbiotiques des nématodes) qui se multiplient rapidement tout en secrétant des toxines. La mort de l'hôte par septicémie survient sous 48 heures environ. Les bactéries dégradent alors les tissus de l'insecte, permettant aux nématodes de se nourrir, de se multiplier et d'effectuer leur propre développement larvaire. Mais le plus étonnant, c'est qu'une fois les ressources nutritives épuisées, les nématodes « récupèrent » leurs bactéries symbiotiques, avant de quitter le cadavre de l'insecte pour infester un autre ravageur.

Les collections de nématodes entomopathogènes et de leurs bactéries symbiotiques au service du biocontrôle



Adulte de taupin des moissons, *Agriotes lineatus L.*
© Inra - P. Thiebeau

Auparavant réparties dans différents laboratoires, les collections de nématodes entomopathogènes sont désormais regroupées au sein du centre Inra Occitanie-Montpellier. Une centaine de souches vivantes composent la collection, auxquelles il faut ajouter près de 600 souches de bactéries symbiotiques des nématodes. Les chercheurs étudient notamment le génome de ces bactéries afin de mieux comprendre les moyens qu'elles mettent en œuvre pour tuer l'insecte et inhiber les autres bactéries présentes dans l'organisme hôte. Ces travaux ont déjà permis d'identifier une bactérie efficace dans la lutte contre la larve du taupin, un petit coléoptère qui s'attaque notamment aux légumes-racines. Problème, ces bactéries sont totalement dépendantes de leur partenaire nématode pour rentrer dans l'insecte. Or, ce dernier est incapable de percer l'épaisse cuticule du taupin. Dans le cadre du projet EcoPhyto Pro-Bio-Taupin, des études complémentaires sont en cours afin de rechercher des facteurs responsables du pouvoir pathogène de la bactérie. Par exemple, une molécule bio-insecticide qui pourrait être produite dans le cadre d'un partenariat industriel.



Larves infestantes (stade L3) de nématode *(Steinernema)* .
© Inra - M. Frayssinet

Les vers, futurs coursiers du biocontrôle

Le projet Nemato-Vectoring s'intéresse aux moyens d'employer les nématodes comme vecteurs d'agents de biocontrôle. En étudiant le microbiote des nématodes, les chercheurs de l'Inra ont en effet découvert qu'il n'hébergeait pas seulement des bactéries symbiotiques, mais aussi d'autres bactéries présentant potentiellement des propriétés bénéfiques à la santé des plantes. Or, actuellement, le processus industriel de production des nématodes limite le développement de leur microbiote. Ce processus comporte deux étapes, la production d'un nématode dépourvu de microbiote d'une part et la production de sa bactérie symbiotique d'autre part, ces deux éléments étant ensuite réassociés pour constituer le produit commercialisé. Pourquoi alors ne pas travailler sur cette réassociation pour véhiculer des bactéries d'intérêt agronomique dans l'environnement de la plante ? C'est tout l'enjeu du projet, qui va s'attacher maintenant à reconstruire le microbiote des nématodes en les réassociant à chacune des bactéries préalablement identifiées et à mesurer leur efficacité en biocontrôle. Si les résultats sont concluants, les industriels pourraient produire en masse de nouveaux auxiliaires de culture plus performants.

LUTTE BIOLOGIQUE PAR ACCLIMATATION

Si les bioagresseurs récemment introduits, comme le cynips du châtaignier ou la drosophile *Drosophila suzukii*, causent autant de dégâts, c'est souvent parce qu'ils trouvent dans la zone qu'ils envahissent des ressources importantes et peu, voire aucun prédateur susceptible d'entraver leur développement. Mais ceux-ci existent dans leur habitat d'origine ! Dans le cadre des opérations de lutte biologique par acclimatation, les chercheurs de l'Inra s'efforcent donc d'identifier ces précieux auxiliaires exotiques. Mais pas seulement. Ils s'assurent aussi que ces nouveaux venus ne représentent aucun danger pour les espèces indigènes non-cibles. Et pour cause, la lutte par acclimatation vise à les installer durablement dans notre paysage pour qu'ils fournissent aux agriculteurs un service pérenne et gratuit.



© Fotolia

Tous unis pour sauver le buis

Introduite en France de façon fortuite à la fin des années 2000, la pyrale du buis est désormais présente sur tout le territoire. Et les dégâts qu'elle cause dans les sous-bois et les jardins privés et patrimoniaux sont considérables. Pour contrôler ce dangereux ravageur, l'Inra, dans le cadre du projet SaveBuxus, s'efforce d'associer des méthodes de lutte ciblant l'insecte aux différentes phases de son développement, depuis l'œuf jusqu'au stade adulte. Après le piège à base de phéromones et la bactérie *Bacillus thuringiensis* qui montrent déjà leur efficacité sur le terrain, les chercheurs de l'Inra entament l'ultime phase de sélection d'un trichogramme particulièrement friand des œufs de pyrale du buis. Au cours des trois dernières années, 54 souches de parasitoïdes oophages de 17 espèces ont été élevées et testées d'abord en laboratoire, puis en conditions réelles. Cette dernière étape, réalisée en 2017, a permis de sélectionner trois candidats : le plus efficace d'entre eux sera retenu à l'issue de nouveaux tests menés d'ici la fin de l'année. Au cours de la deuxième phase du projet SaveBuxus (2018-2020), les chercheurs vont établir un cahier technique à destination du grand public, où figureront les préconisations d'usage des différents moyens de lutte, en fonction du climat, de l'écosystème, de la quantité de ravageurs, mais également du budget dont disposent les utilisateurs.

Entomopolis : les insectes sous haute surveillance

Mastrus ridens, Torymus sinensis, Dryocosmus kuriphilus, Drosophila suzukii... Pour ces auxiliaires et ravageurs d'origine exotique, pas question de mettre une patte dehors ! Pour élever et étudier ces insectes soumis à réglementation ou en tout cas à certaines précautions, l'Institut Sophia Agrobiotech (Inra, CNRS, université Sophia-Antipolis) a conçu, en 2010 Entomopolis, un bâtiment de bioconfinement isolé du reste des installations. D'une surface d'environ 220 m², il n'a cessé depuis d'évoluer dans le but d'améliorer les conditions de bio-confinement. Le bâtiment a ainsi été remanié pour satisfaire aux exigences du décret de 2012 relatif aux conditions d'autorisation d'entrée sur le territoire et d'introduction dans l'environnement de macro-organismes non indigènes dans le cadre du biocontrôle : pièces isolées par sas et maintenues en dépression pour que l'air circule de l'extérieur vers l'intérieur ; pièges englués et pièges UV pour capturer les éventuels fugitifs ; verrouillage automatique empêchant l'ouverture simultanée de deux portes du bâtiment... Bref, un insecte qui entre à Entomopolis n'en sort qu'avec un laisser-passer en bonne et due forme ou sous forme inerte.



Bâtiment Entomopolis.
© Inra - G. Groussier

Auxiliaire de déminage

Détectée pour la première fois en Europe en 2006, la mouche mineuse sud-américaine de la tomate *(Tuta absoluta)* fait des ravages dans tout le bassin méditerranéen, où les pertes peuvent localement atteindre 100 % ! Parmi les méthodes employées pour contrôler ce lépidoptère figure l'utilisation d'un auxiliaire tout aussi vorace : *Trichogramma achaeae*. Les œufs de cette micro-guêpe sont stockés dans des diffuseurs biodégradables à placer dans les parcelles dès la détection des premiers vols du ravageur. Utilisé en association avec d'autres agents de biocontrôle ciblant les larves et le papillon, cet auxiliaire se révèle efficace pour limiter l'impact du bioagresseur.



© Fotolia

Quand la guêpe prend la mouche

Dix ans. C'est le temps qu'il aura fallu à *Drosophila suzukii*, un moucheron originaire d'Asie, pour coloniser l'ensemble de notre territoire. Avec des conséquences désastreuses, car contrairement à la plupart des drosophiles qui pondent leurs œufs dans des fruits en décomposition, *D. suzukii* s'attaque aux fruits en cours de maturation. On estime que 80 à 90 espèces de fruits cultivés et sauvages sont aujourd'hui attaquées par ce bioagresseur, entraînant des pertes pouvant atteindre 80 % de la production. Dans le cadre du projet international Dropsa (2013-2017), les chercheurs de l'Inra ont participé à l'inventaire des parasitoïdes naturels de ce ravageur en Asie et testé sous quarantaine en laboratoire l'efficacité de certaines souches. Après plusieurs années de recherche, ils sont parvenus à isoler un candidat prometteur, une micro-guêpe du genre *Ganaspis* qui se développe au détriment de la larve de drosophile. D'ici la fin de l'année 2018, les tests visant à contrôler l'impact de cet auxiliaire sur la biodiversité seront achevés et, si tout se passe comme prévu, une demande d'autorisation d'évaluation au champ sera soumise aux autorités compétentes en vue des premiers lâchers dès 2019. Il y a urgence car *D. suzukii* représente aujourd'hui près de 50 % des drosophiles capturées en France sur fruits rouges. On la trouve même dans les rayons fruits et légumes des supermarchés !



Drosophila suzukii. © Inra - J.Y. Rasplus

Le crépuscule du cynips du châtaignier

Une *success story*, la formule ne semble pas exagérée quand il s'agit d'évoquer la lutte contre le cynips du châtaignier *(Dryocosmus kuriphilus)*. Cette micro-guêpe galligène, originaire de Chine, dévaste les exploitations depuis son arrivée en Europe, entraînant des pertes qui peuvent atteindre 100 % chez certains producteurs. Mais elle affecte aussi les apiculteurs car sur les châtaigniers touchés, les fleurs sont moins nombreuses. La bonne nouvelle, c'est qu'un parasitoïde très efficace provenant lui aussi de Chine *(Torymus sinensis)* a prouvé son efficacité dans la lutte contre le cynips, dès la fin des années 80, d'abord au Japon, puis aux Etats-Unis. En Europe, c'est l'Italie qui, la première, a dû faire face à ce dangereux bioagresseur, au début des années 2000. La réaction a donc été rapide et, dès 2005, les premiers lâchers de *T. sinensis* ont été réalisés en Italie puis en France dès 2011, suite à la mise en place d'un comité de pilotage impliquant l'Inra et les principaux porteurs d'enjeux. Avec succès puisque, reproduits chaque année, ces lâchers contribuent à réduire progressivement les infestations de cynips. Non seulement elles baissent régulièrement dans toutes les régions où l'auxiliaire est introduit, mais les prélèvements annuels montrent que l'auxiliaire s'y installe de façon durable. De quoi redonner le sourire aux castanéiculteurs et aux apiculteurs.



Le parasitoïde *Torymus sinensis* (à gauche © Inra - A. Quacchia) efficace dans la lutte contre *Dryocosmus kuriphilus* (à droite © Inra - J.C. Malausa).

Mastrus ridens va croquer le carpocapse de la pomme



Dégâts de la chenille du carpocapse dans une pomme : une galerie aboutissant directement aux pépins qui seront dévorés par la larve. © Inra - B. Sauphanor

La pomme est le fruit le plus consommé en France. Sa culture nécessite toutefois généralement une grande quantité de traitements à base de pesticides, notamment pour lutter contre son principal insecte agresseur, le carpocapse *Cydia pomonella*. Trente à 40 % des traitements insecticides le ciblent spécifiquement ! Lancé en 2014, le projet Ecophyto Bioccyd, porté par l'Inra, vise à évaluer des solutions de biocontrôle de ce ravageur, la principale piste reposant sur l'acclimatation en France de *Mastrus ridens*, un parasitoïde attaquant le dernier stade de la larve. Cette petite guêpe d'Asie centrale n'est pas une inconnue. Introduite en 1995 aux États-Unis, elle parasite désormais jusqu'à 70 % des cocons de carpocapse. Afin d'évaluer la spécificité de *M. ridens* dans un contexte européen, les chercheurs de l'Inra ont confronté l'auxiliaire à une dizaine d'espèces locales non-cibles présentant des ressemblances écologiques ou phylogénétiques avec *C. pomonella*. Ces travaux ont mis en évidence une forte spécificité de *M. ridens*, un argument probablement décisif dans la délivrance de l'autorisation de son évaluation au champ. Prochaine étape donc, les lâchers sur une bonne cinquantaine de sites. Une opération dont il reste encore à trouver le financement mais qui, en cas de réussite, pourrait rapidement rapporter des bénéfices en termes de régulation globale des populations de *C. pomonella*.

LA LUTTE BIOLOGIQUE PAR CONSERVATION

Et si l'on prenait soin des auxiliaires naturellement présents dans les paysages agricoles ? C'est tout l'enjeu de la lutte biologique par conservation, qui vise à conserver ou augmenter les populations des ennemis naturels des ravageurs. Où l'on découvre que finalement, les besoins des insectes, araignées, oiseaux et autres chauves-souris ne sont guère différents des nôtres. Ce qu'ils recherchent ? Le gîte, le couvert, un environnement sain, le tout aisément accessible. À l'Inra, les chercheurs se mettent en quatre pour chouchouter cette main-d'œuvre autochtone et contribuer à son essor.



© Inra

L'organisation des bords de parcelles et des paysages

Comprendre comment l'organisation des paysages agricoles et des bords de parcelles affecte la dynamique des ravageurs et de leurs ennemis naturels, voilà l'une des missions menées par plusieurs unités de recherche de l'Inra. Pour cela, les chercheurs cartographient les paysages de culture, par exemple les vergers de pommiers de la basse vallée de la Durance (sud-est de la France). Ils s'efforcent d'identifier tous les éléments qui les composent : bois, haies, fossés, prairies, parcelles en agriculture biologique ou conventionnelle, bref tout ce qui peut influencer la dynamique des auxiliaires de culture. Ensuite ils évaluent les interactions entre les ravageurs et leurs ennemis. Ces observations leur permettent de mettre en relation l'abondance des insectes phytophages et de leurs ennemis naturels, avec les caractéristiques du paysage. Ces études tendent à démontrer que, dès qu'il s'agit de lutte par conservation, l'aménagement de la parcelle est parfois moins important que l'organisation générale du paysage qui l'entoure. Avec une nuance, cependant. Il semblerait en effet qu'un bon environnement, propice à l'épanouissement et au déplacement des ravageurs, soit davantage nécessaire aux abords des parcelles qui reçoivent beaucoup de traitements phytosanitaires. En agriculture moins intensive, au contraire, les auxiliaires se développeraient naturellement dans les cultures, où ils trouveraient les proies nécessaires à leur subsistance et leur reproduction.

Les mésanges, gardiennes des vergers

Que mangent les mésanges ? Des chenilles ! Les larves de lépidoptères représentent jusqu'à 70 % de leur alimentation. Autant dire que ces gracieux passereaux sont des alliés de poids dans la lutte biologique. À condition de leur offrir un environnement sain, comme l'ont démontré les chercheurs de l'Inra. En 2001, ils ont installé des nichoirs dans les vergers de producteurs de pommes conventionnels et en agriculture biologique. Et durant plus de dix ans, ils ont suivi la biologie de reproduction des oiseaux, répertoriant le nombre de couples à l'hectare, les dates de ponte ou encore le nombre d'oisillons atteignant le stade d'envol. Les nichoirs exposés aux pesticides ont été plus fréquemment abandonnés que ceux installés en vergers bio. En outre, bien que ces produits soient conçus pour cibler les insectes, on note, à nombre d'œufs équivalent, beaucoup moins de naissances à l'hectare dans les nichoirs placés en conventionnel qu'en bio. Et la mortalité des poussins y est aussi nettement plus importante. D'autres résultats montrent que les mésanges des vergers bio se nourrissent autant sur les pommiers que dans les haies alentour, alors qu'en conventionnel, elles ne fréquentent que les haies. Une raison peut expliquer ce comportement : les pesticides répandus en conventionnel éliminent la plupart des proies de la mésange dans la culture, ce qui les pousse à chasser à l'extérieur de la parcelle.



Mésange charbonnière et son nichoir. © Inra - J.C. Bouvier

INRA SCIENCE & IMPACT
PRESSE Dossier

AMÉLIORER L'UTILISATION DES MACRO-ORGANISMES, UN DÉFI POUR LA RECHERCHE

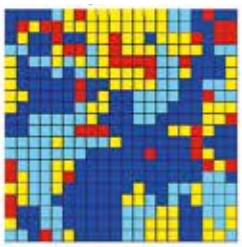

© Inra - B. Nicolas

Du bon usage des auxiliaires

Quelles sont les chances de succès d'introduction et d'expansion d'un auxiliaire, dans un habitat donné ? Combien d'auxiliaires faut-il lâcher ? C'est à ces questions que s'efforcent de répondre les chercheurs de l'Inra. Un travail de longue haleine, qui se déroule en trois phases. Les scientifiques commencent par développer des modèles mathématiques destinés à observer le comportement d'auxiliaires lâchés, qu'il s'agisse de micro-guêpes parasitoïdes, d'insectes ou d'acariens prédateurs. Ils examinent notamment la façon dont les auxiliaires se dispersent dans l'espace et dans le temps, en fonction de la structuration de l'environnement, des sources de nourriture, ou encore des abris et sites de ponte artificiels mis à leur disposition dans le but de favoriser leur conservation. Les modèles tiennent aussi compte des phénomènes négatifs liés à la densité : l'efficacité individuelle des prédateurs baisse avec leur nombre. En clair, trop d'auxiliaires présents en même temps dans l'environnement, c'est du gâchis ! Les prédictions générales issues des modèles sont ensuite affinées en laboratoire, avec de vrais auxiliaires cette fois, mais dans des paysages artificiels composés de cages, de tubes et de tuyaux. Les chercheurs observent ainsi leur comportement sur plusieurs générations : comment et à quelle vitesse se déplacent-ils, comment se comportent-ils devant des obstacles... Enfin, les prédictions obtenues en laboratoire sont testées en milieu naturel. L'objectif consiste notamment à mesurer la façon dont l'organisme colonise le paysage agricole, en fonction des éléments qui s'y trouvent : haies, présence de produits phytosanitaires, types de culture... Des captures réalisées à intervalles réguliers dans l'espace et le temps permettent de suivre l'évolution spatiale et démographique de la population lâchée. Bref, de comprendre à quoi ressemble un paysage agricole du point de vue de l'auxiliaire. À l'issue des expérimentations, les chercheurs vont concevoir une plateforme de simulation destinée au grand public, et particulièrement aux acteurs du biocontrôle, afin de leur fournir des conseils et recommandations sur le bon usage des auxiliaires, garantissant leur survie et leur expansion.

Le projet Peerless

Quels sont les effets de l'organisation du paysage et des pratiques agricoles sur les auxiliaires de culture ? Voilà l'une des questions auxquelles s'efforcent de répondre les chercheurs de l'Inra. Dans le cadre du projet Peerless, ils ont élaboré un modèle destiné à évaluer la manière dont les ravageurs et leurs prédateurs se déplacent dans l'espace, se reproduisent et interagissent, en fonction de l'environnement. Calibré à partir de données recueillies sur le terrain, le modèle permet de tester d'innombrables scénarios d'aménagement du paysage et d'identifier les configurations et les agencements les plus propices au développement et à la dissémination des auxiliaires. Et ceux qui, au contraire, constituent des obstacles à leur propagation.

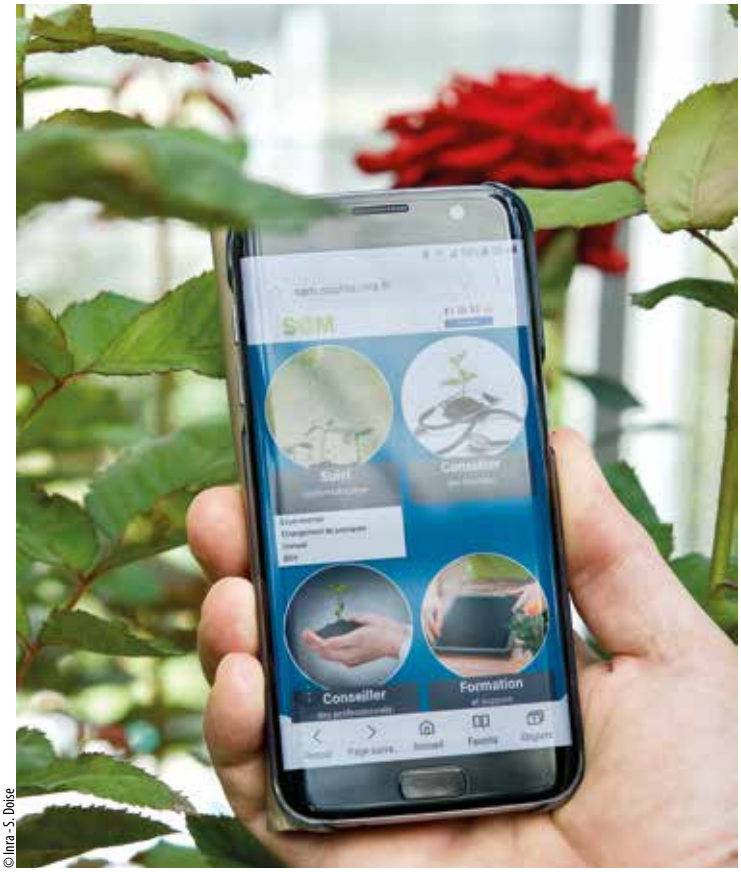

MULTILAND : générateur de paysages aléatoires. Il permet de contrôler les proportions et le niveau de fragmentation des régions qui composent le paysage.
© Inra - L. Roques

Quand le climat s'en mêle

Avec le changement climatique, on assiste à un accroissement des épisodes de stress hydrique qui affectent non seulement les plantes, mais aussi les organismes vivants et notamment les ravageurs et leurs prédateurs. On constate, par exemple, que des populations de pucerons peuvent se développer plus rapidement sur des peupliers subissant une carence en eau, ce qui les fragilise un peu plus. Les chercheurs de l'Inra étudient les conditions qui favorisent ou défavorisent les ravageurs et comment cette situation influe sur la dynamique de leurs ennemis naturels. Ils ont ainsi découvert qu'un prédateur de pucerons sur tomates, qui se nourrit aussi de la sève de la plante (mais sans l'abîmer), a tendance à être moins actif comme prédateur lorsque la plante est soumise à un stress hydrique. De fait, le développement de l'auxiliaire est altéré et sa pression sur les ravageurs diminue. À l'issue de ces observations, les scientifiques établissent des préconisations sur les mesures à adopter pour réduire les effets délétères liés au changement climatique, sur les agents de biocontrôle.



© Fotolia



© Inra - S. Doise

S@M, l'allié numérique des horticulteurs

S@M est un outil d'aide à la décision destiné aux professionnels de l'horticulture qui privilégient l'emploi d'agents de biocontrôle pour assurer la bonne santé des plantes. Conçu par l'Inra pour être à la fois robuste, fiable et simple d'utilisation, S@M se présente sous la forme d'une interface Web, utilisable sur le terrain avec une tablette ou un smartphone. Il permet à l'exploitant ou au conseiller de collecter, stocker et diffuser l'ensemble des données biologiques et plus globalement de production d'un agroécosystème. En échange, l'outil permet un suivi précis et en temps réel de l'état sanitaire de chaque parcelle de l'exploitation et fournit des conseils personnalisés pour prendre les meilleures décisions de gestion de la culture, telles que l'utilisation de produits de biocontrôle ou de stratégies de lutte biologique par conservation. Utilisé depuis trois ans pour la culture des rosiers, l'outil sera proposé fin 2018 pour la tomate.



Spores de *Botrytis cinerea* en début de germination vues au microscope optique.
© Inra - M. Fouchard

UNE PANOPLIE DE MICRO-ORGANISMES PROTECTEURS

VIRUS, BACTÉRIES, CHAMPIGNONS... D'EMBLÉE ET PARFOIS À TORT, CES NOMS INQUIÈTENT ET LEUR ÉVOCATION FAIT SURGIR, DANS NOTRE ESPRIT, UNE FUNESTE FARANDOLE D'AFFECTIONS FATALES. POUR LES CHERCHEURS DE L'INRA QUI LES ÉTUDIENT DEPUIS DES DÉCENNIES, CERTAINS DE CES MICRO-ORGANISMES SE RÉVÈLENT AU CONTRAIRE TRÈS UTILES POUR PROTÉGER LES PLANTES DES MALADIES ET D'AUTRES BIOAGRESSEURS. AUJOURD'HUI, UNE VINGTAINE D'ENTRE EUX SONT UTILISÉS ET LEUR EFFICACITÉ SE RÉVÈLE PARFOIS REMARQUABLE. LEUR PRINCIPAL ATOUT : UN CHAMP D'ACTION TRÈS SPÉCIFIQUE, QUI PERMET DE MENER DES ACTIONS CIBLÉES SUR UN BIOAGRESSEUR, SANS ALTÉRER LA DIVERSITÉ ET LA DYNAMIQUE DU RESTE DE LA POPULATION.

DES CANDIDATS BACTÉRIENS ET FONGIQUES

Beaucoup d'appelés, très peu d'élus

Pourquoi certains plants de tomate élevés sous serre affichent-ils une santé de fer, quand la plupart de ceux qui l'entourent sont sévèrement frappés par le champignon *Botrytis cinerea* ? Peut-être parce qu'ils sont colonisés par une flore bénéfique qui assure un rôle protecteur face à l'agent pathogène. Cette hypothèse, les chercheurs de l'Inra ont décidé de la vérifier dès les années 90. Pour cela, ils ont prélevé des échantillons de plantes indemnes sur des plaies causées par l'arrachage d'une feuille (comme pour nous, ces blessures constituent une porte d'entrée pour les microbes) et ont observé les micro-organismes qui s'y développaient. Plus de 200 souches jugées potentiellement bénéfiques ont été identifiées, et à leur tour confrontées au champignon pathogène. À l'issue de ce criblage, 80 % des micro-organismes ont été éliminés. Pour les autres, les tests se sont poursuivis en enceinte climatisée sur des plantes élevées en pot. Quatre candidats, sur les 200 souches de départ, se sont révélés particulièrement efficaces, une bactérie affichant même un taux de protection de 100 % contre *B. cinerea* ! Mais à l'issue des tests en condition d'exploitation réelle, c'est finalement un champignon, la souche L13, qui sera retenu, la bactérie offrant une moindre régularité dans les résultats. Les travaux de recherche sur ce précieux micro-organisme se poursuivent, notamment pour envisager son utilisation en complément d'autres méthodes de lutte. Les résultats nécessaires à l'obtention d'un dossier d'homologation étant déjà bien aboutis, un partenaire industriel a été identifié pour poursuivre l'exploitation des propriétés de ce micro-organisme.



Dégâts sur une feuille de vigne dus à *Botrytis cinerea*.
© Inra - Y. Bugaret

Oomycide volontaire

Il n'y a pas que les végétaux qui soient menacés par les oomycètes pathogènes. Ces micro-organismes causent aussi de gros dégâts en pisciculture où ils parasitent notamment les truites et les saumons (adultes et œufs). La lutte contre ces bioagresseurs est difficile, notamment en raison de leur grande capacité à contourner les pesticides et les résistances des plantes. Mais heureusement, les chercheurs de l'Inra ont réussi à identifier, à partir de biofilms d'oomycètes, une souche de champignon aux propriétés anti-oomycètes. Baptisée Y3 *(Ascomycota sp.)*, elle sécrète, pour se défendre, une molécule biocide très efficace contre les oomycètes, même à très faible dose. Des tests, en laboratoire, montrent qu'elle tue toutes les espèces d'oomycètes auxquelles on l'a confrontée. Il faut à présent confirmer ces résultats spectaculaires lors d'expérimentations en conditions de production. C'est l'objectif poursuivi par un projet de valorisation industrielle actuellement en cours de construction. Est-il préférable d'utiliser le champignon vivant, de n'employer que la molécule qu'il produit ou de synthétiser cette dernière ? Des recherches complémentaires sont encore nécessaires, notamment aussi pour s'assurer de l'innocuité de la molécule vis-à-vis des autres organismes. La commercialisation de ce nouvel agent de biocontrôle pourrait avoir lieu d'ici cinq ans.



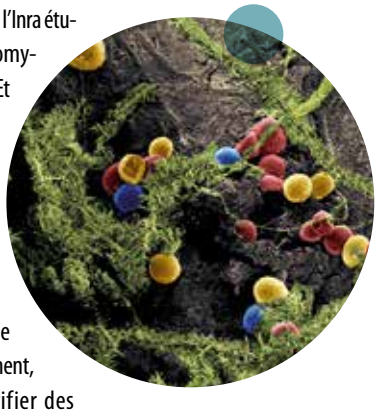
L'oomycète *Phytophthora parasitica* en confrontation avec la souche Y3 *(Ascomycota sp.)*. © Inra - E. Galiana

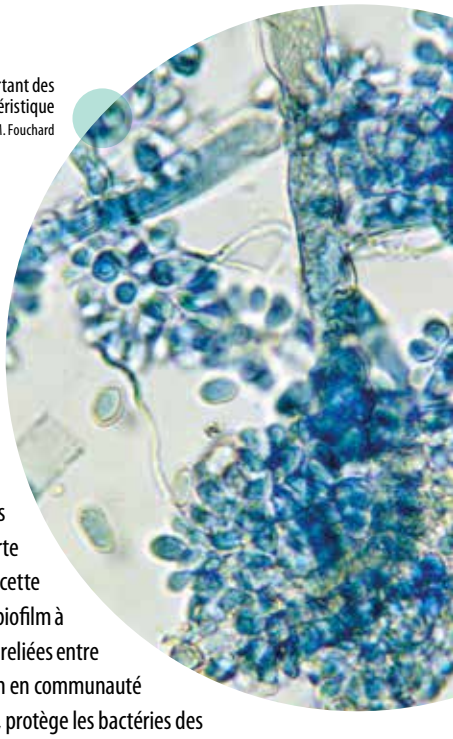
DÉTOURNER LES PROPRIÉTÉS DES BIOFILMS

Biofilm d'horreur

Les oomycètes, des micro-organismes eucaryotes filamenteux, sont responsables de nombreuses maladies affectant les plantes, parmi lesquelles le tristement célèbre mildiou qui, s'il n'est pas combattu, peut anéantir l'intégralité d'une récolte en un temps très court. Tomates, pommes de terre, vignes, châtaigniers comptent parmi les espèces les plus menacées par ces micro-organismes taxonomiquement proches des algues brunes. Depuis plusieurs années, les chercheurs de l'Inra étudient la biologie des oomycètes phytopathogènes. Et notamment la manière dont ils utilisent leurs spores flagellées pour développer un biofilm constitué de quelques centaines, voire milliers de cellules, à la surface de la plante hôte. Parallèlement, ils s'efforcent d'identifier des micro-organismes capables d'interrompre la formation de cet inoculum avant qu'il n'ait le temps d'infecter la plante. Avec déjà des résultats très encourageants, mais aussi quelques surprises. Ainsi, lors de tests en laboratoire, les scientifiques ont observé dans les biofilms d'oomycètes, des micro-organismes normalement présents dans les sols, où ils se nourrissent de bactéries. Si la raison de leur présence reste à préciser, elle n'est pas anodine. En effet, lorsque ces micro-organismes du sol quittent le biofilm, ils transportent à l'extrémité de leur pédoncule des cellules de l'oomycète pathogène, contribuant ainsi, de façon fortuite, à sa dissémination. Des études complémentaires sont nécessaires pour savoir si ce comportement se produit de la même manière dans le milieu naturel.

Agaricus bisporus. © Inra - C. Pandin

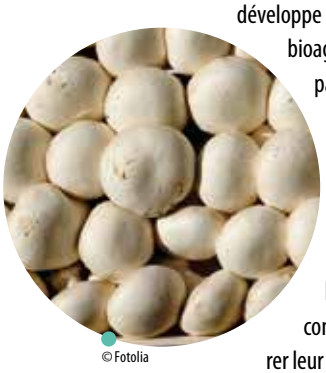




Conidiophores de *Botrytis cinerea* portant des conidies ou spores dont la structure caractéristique est en arbuste. © Inra - M. Fouchard

Le biofilm booste l'efficacité de l'agent de biocontrôle

En matière de biocontrôle, la filière des champignons de Paris *(Agarus bisporus)* fait figure d'élève modèle. En effet, 80 % des cultures sont protégées par du biocontrôle. Une bactérie, *Bacillus velezensis*, est notamment plébiscitée par une majorité de producteurs, qui l'utilisent depuis une dizaine d'années pour lutter contre la moisissure verte *(Trichoderma aggressivum)*. Pour les chercheurs de l'Inra, cette étonnante efficacité pourrait être liée à la formation d'un biofilm à la surface du compost, constitué de bactéries *B. velezensis* reliées entre elles au sein d'une matrice protectrice. Cette organisation en communauté microbienne, très commune parmi les micro-organismes, protège les bactéries des agressions extérieures. Pour l'agent de biocontrôle, cela se traduit par une meilleure résistance aux variations d'humidité mais aussi aux antimicrobiens et toxines diverses, présents dans le milieu. Le biofilm confère en plus un avantage compétitif dans la colonisation de l'environnement et une efficacité accrue de ses substances antimicrobiennes, entravant de fait le développement d'autres micro-organismes. Les chercheurs ont ainsi constaté qu'en l'absence de bioprotection des cultures par l'agent de biocontrôle *B. velezensis*, la multiplication du bioagresseur *T. aggressivum* peut réduire de moitié le rendement en champignons de Paris (aucun champignon ne se développe dans les zones touchées). À l'inverse, lorsque *B. velezensis* est utilisée, le bioagresseur ne parvient pas à se développer en présence du biofilm composé par les précieuses bactéries. Et tout cela sans aucune conséquence pour le champignon de Paris. Et pour le compost ? Eh bien là encore, une étude en cours semble montrer que la présence de la souche bactérienne ne modifie pas les grands profils de diversité du compost et leur dynamique. C'est important car une fois les champignons récoltés, le compost peut être réutilisé pour la fertilisation des cultures de sol. Les chercheurs poursuivent leurs travaux, avec comme objectif ultime, la formulation d'agents de biocontrôle voire de cocktails de souches, sous forme de biofilms, pour améliorer leur résistance et accélérer leur implantation.



© Fotolia

LES VIRUS ENTOMOPATHOGÈNES

Un virus pour lutter contre le carpocapse

Les pommes sont en France les fruits qui font l'objet du plus grand nombre de traitements à base de pesticides chimiques, notamment pour lutter contre le très agressif carpocapse des pommes et des poires *(Cydia pomonella).* Pour autant, des solutions alternatives existent. Adoptées depuis longtemps par les agriculteurs bio, elles attirent un nombre croissant de producteurs en agriculture conventionnelle, notamment en raison de leur innocuité sur la santé humaine autorisant des traitements proches de la récolte. Parmi ces agents de biocontrôle, la carpovirusine fait figure de pionnier. Son élaboration par l'Inra et la société Calliope a débuté dès les années 80, et le produit est commercialisé depuis 1998. Développé à partir du virus de la granulose du carpocapse, un pathogène spécifique de l'insecte, la carpovirusine est pulvérisée sur les pommiers et contamine les larves qui la consomment. Le virus se réplique alors dans l'organisme, provoquant l'arrêt de l'alimentation, et la mort en quelques jours. En agriculture bio, la carpovirusine est utilisée en association avec d'autres méthodes de biocontrôle, telles que la confusion sexuelle des papillons mâles, ou l'utilisation de filets « type » moustiquaire appelés filets Alt'carpo.

Quand le carpocapse fait de la résistance

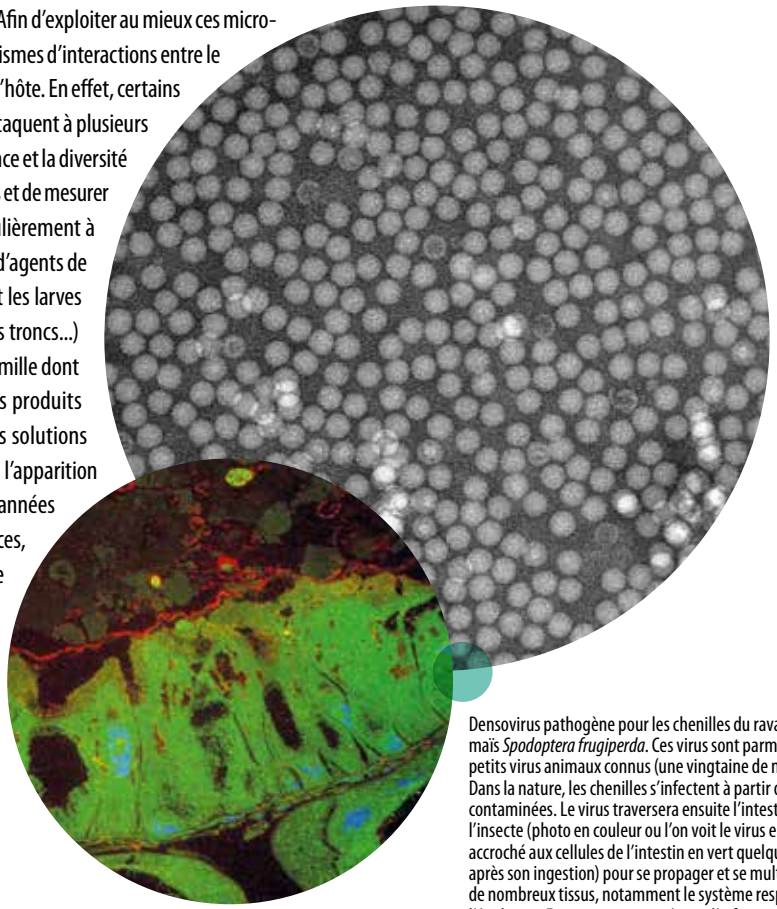
Faute d'autre solution naturelle disponible, la carpovirusine a été utilisée sans modération dans les vergers conduits en agriculture biologique. Après huit ans d'utilisation à une fréquence pouvant atteindre 12 traitements par an pour un même verger, les premiers cas de résistance sont apparus en 2005, dans le sud-est de la France et en Allemagne. Les insectes s'avéraient ainsi capables de survivre à des doses virales 13 000 fois supérieures à celles normalement suffisantes pour les tuer ! Immédiatement, des projets scientifiques ont été lancés au niveau national et européen. D'abord pour comprendre la cause de la résistance et sa fréquence, puis pour tenter d'identifier de nouveaux isolats viraux capables de tuer les insectes résistants et enfin créer un nouveau produit. Ces recherches ont porté leur fruit car désormais, trois variantes du virus sont disponibles dont deux efficaces contre les insectes résistants. Mais les chercheurs de l'Inra explorent aussi d'autres pistes. Ils comptent ainsi sur la capacité du virus à évoluer naturellement pour s'adapter aux mutations de l'insecte et contourner les résistances qu'il a développées. Cette coévolution permettrait en effet de conserver l'efficacité des virus sur les populations sauvages de carpocapses, rendant l'identification de nouveaux isolats moins urgente, sinon inutile. En attendant, il est primordial d'alterner l'utilisation des différents bio-insecticides au cours d'une année, de manière à réduire la pression de sélection sur ce bioagresseur et éviter ainsi l'émergence de nouvelles résistances.



©Inra - Christophe Maître

Les densovirus, petits, mais costauds

Les virus pathogènes sont employés avec succès depuis plusieurs années dans le cadre du biocontrôle. La carpovirusine en donne un bon exemple. Cependant, malgré une efficacité avérée, leur usage demeure encore confidentiel puisqu'ils ne représentent qu'environ 4 % des produits de biocontrôle. Une situation qui pourrait rapidement changer, tant ces minuscules micro-organismes constituent de précieux auxiliaires. Prenez les densovirus, par exemple. Ils comptent parmi les virus les plus petits et les plus simples. Mais qu'ils pénètrent la larve d'un lépidoptère phytophage, et ils la tuent en quelques jours. De la frappe chirurgicale, en quelque sorte. Afin d'exploiter au mieux ces micro-organismes, les chercheurs de l'Inra s'efforcent d'observer les mécanismes d'interactions entre le virus et son hôte et de comprendre ce qui détermine leur spécificité d'hôte. En effet, certains virus n'infectent qu'une espèce bien précise tandis que d'autres s'attaquent à plusieurs espèces d'un même genre. Ils tentent aussi de déterminer la prévalence et la diversité des virus chez les insectes associés aux écosystèmes naturels et cultivés et de mesurer la proportion de densovirus. Si les chercheurs s'intéressent particulièrement à ces derniers, c'est qu'ils semblent parfaitement adaptés pour servir d'agents de biocontrôle. Petits et relativement aisés à produire, ils contaminent les larves par voie orale (il suffirait donc de les pulvériser sur les feuilles ou les troncs...) et leur action pathogène est comparable à celles des baculovirus, famille dont fait partie le virus de la granulose du carpocapse. Développer des produits à base de densovirus permettrait donc d'augmenter l'arsenal des solutions insecticides d'origine virale. Et plus cet arsenal sera diversifié, plus l'apparition de résistances chez les insectes cibles sera limitée. Après plusieurs années de recherche, l'Inra en collaboration avec la société Bioline AgroSciences, a sélectionné une souche de densovirus prometteuse et s'apprête à entrer dans une nouvelle phase de son développement en tant qu'agent de biocontrôle.



Densovirus pathogène pour les chenilles du ravageur de maïs *Spodoptera frugiperda*. Ces virus sont parmi les plus petits virus animaux connus (une vingtaine de nanomètres). Dans la nature, les chenilles s'infectent à partir de feuilles contaminées. Le virus traversera ensuite l'intestin de l'insecte (photo en couleur ou l'on voit le virus en rouge accroché aux cellules de l'intestin en vert quelques minutes après son ingestion) pour se propager et se multiplier dans de nombreux tissus, notamment le système respiratoire et l'épiderme. Entre autres symptômes, l'infection provoquera un arrêt du développement et une asphyxie des chenilles, entrainant leur mort en quelques jours, ce temps étant fonction du stade larvaire infecté et de la dose virale ingérée. © Inra - M. Ravellec



Jeune semis de pommier traité avec un SDP candidat et prélèvement de disques foliaires avant analyse qPFD. © Inra

Vérifier rapidement l'efficacité d'un SDP

Pour vérifier qu'un micro-organisme ou qu'une substance a une activité de stimulation de défense des plantes (c'est-à-dire une réelle efficacité à booster le système immunitaire d'une plante), un outil nommé qPFD (Puce à faible densité quantitative) a été développé et breveté par l'Inra. Cet outil permet de tester un grand nombre de composés en mesurant le niveau d'activation de 28 marqueurs de défense d'une plante après traitement. L'outil permet ainsi de sélectionner rapidement en laboratoire les composés les plus prometteurs et d'écarter les moins efficaces, ce qui limite les expérimentations au champ, longues et coûteuses.

EXPLORER LE MICROBIOME DES PLANTES

Le phytobiome : une source inépuisable de micro-organismes candidats pour le biocontrôle


© Fotolia

Dans les champs, la plante est entourée d'innombrables micro-organismes, que ce soit au niveau des feuilles ou des racines. Certains interagissent avec elle, directement ou indirectement. Parmi eux, les pathogènes causent des dégâts, mais il y a aussi des micro-organismes bénéfiques, soit parce qu'ils aident la plante à se nourrir ou à se défendre, soit parce qu'ils attaquent ou entrent en compétition avec les pathogènes. L'étude de ces micro-organismes (le phytobiome) est une source exceptionnelle de candidats utilisables en biocontrôle (soit les micro-organismes bénéfiques eux-mêmes, soit les substances qu'ils produisent). Les équipes de l'Inra améliorent constamment les méthodes d'analyse du phytobiome pour détecter les interactions entre la plante, les pathogènes et l'ensemble des micro-organismes qui les entourent (comme par exemple dans le projet « BCMicrobiome » financé par le Consortium public-privé sur le biocontrôle). La compréhension de ces interactions permettra de cibler les candidats les plus prometteurs que les acteurs de la R&D pourront convertir en solutions de protection des plantes.

Favoriser l'action d'alliés cachés dans les sols

L'extraordinaire abondance et diversité des micro-organismes (bactéries, archées, champignons...) du sol procure de nombreux services allant de l'augmentation de la fertilité des sols à la régulation des pathogènes. Favoriser l'action des communautés microbiennes indigènes dans leur rôle de protection des sols et des plantes est une alternative à l'utilisation de produits phytosanitaires. Les micro-organismes du sol peuvent en effet affecter fortement la survie des agents pathogènes en jouant un rôle de barrière biologique par compétition pour des nutriments, par production de substances inhibitrices (antibiose) ou par parasitisme, diminuant ainsi d'une part le risque de multiplication et d'activité des agents pathogènes indigènes, et d'autre part celui d'établissement d'une espèce envahissante. Ces mêmes micro-organismes peuvent en outre promouvoir des réactions de défense des plantes. Il a ainsi été constaté que la réduction de la diversité des micro-organismes par des pratiques culturales intensives peut favoriser la survie des agents pathogènes. A l'inverse, la mise en place de pratiques agroécologiques augmentant la diversité microbienne limite leur développement. Grâce à l'analyse des mécanismes de résistance naturelle de certains sols aux maladies provoquées par les champignons, les équipes de l'Inra évaluent aussi des pistes pour le biocontrôle et cherchent de nouveaux candidats telles que privilégier des pratiques culturales favorisant des groupes de micro-organismes bénéfiques ou/et isoler certains d'entre eux pour une utilisation localisée. Déterminer les meilleures stratégies nécessite à la fois une bonne connaissance de l'écologie microbienne et des indicateurs de l'état phytosanitaire des sols.


Fusarium oxysporum, efficace pour lutter contre des *Fusarium* de la même espèce, pathogènes de cultures maraîchères.
© Inra - C. Steinberg



Production de racines riches en acides dicaféoylquiniques (liseron d'eau, *Ipomea aquatica*). © Inra

LES SUBSTANCES NATURELLES BÉNÉFIQUES

QU'ELLES SOIENT D'ORIGINE ANIMALE, VÉGÉTALE OU MINÉRALE, LES SUBSTANCES NATURELLES ONT VOCATION À SE DÉVELOPPER DANS LE CADRE DU BIOCONTRÔLE, AFIN DE SE SUBSTITUER, PARTIELLEMENT OU TOTALEMENT, AUX PRODUITS PHYTOSANITAIRES.

Au cœur de la patate douce

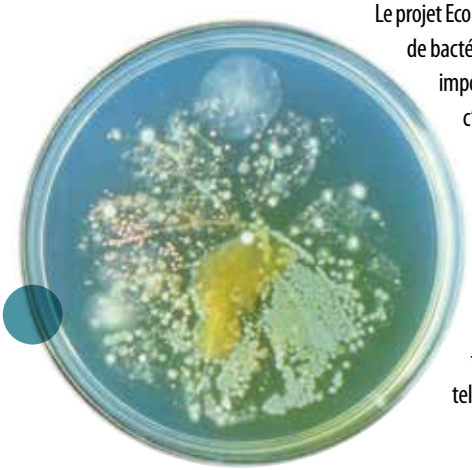
Les pucerons, minuscules insectes phytophages, sont une plaie pour les agriculteurs. Non contents de dévorer les jeunes feuilles, ils véhiculent aussi un grand nombre de virus phytopathogènes et font preuve d'une grande résistance à l'égard des pesticides. Mais peut-être plus pour longtemps. Des chercheurs de l'Inra, qui étudient les mécanismes de résistance du pêcher face au puceron vert, ont mis en évidence des molécules (acides dicaféoylquiniques) si toxiques qu'en laboratoire, elles se sont avérées fatales pour toutes les espèces de pucerons testées. Seul problème, ces molécules sont très difficiles à isoler à partir du pêcher. Les scientifiques se sont donc mis en quête d'une autre source d'approvisionnement et c'est finalement dans la patate douce qu'ils l'ont dénichée, en très grande quantité. À la suite de cette découverte, l'Inra a déposé deux brevets. Le premier sur la production de ces molécules à partir des racines de la patate douce, le second sur ses propriétés aphicides (anti pucerons) et fongicides. Cette démarche s'inscrit dans le cadre du projet DiCaBio, associant des partenaires académiques et industriels, qui vise à développer des solutions de biocontrôle basées sur les acides dicaféoylquiniques. Prochaines étapes, étudier la capacité d'adaptation des pucerons à ces molécules en condition de culture et en mesurer l'impact sur l'environnement, notamment sur les abeilles. Pour l'homme, ces molécules ne présentent pas de danger. Elles sont au contraire réputées pour leurs propriétés antioxydantes.



Puceron *Myzus Persicae*.
© Inra - J.C. Malausa

Une sélection impitoyable

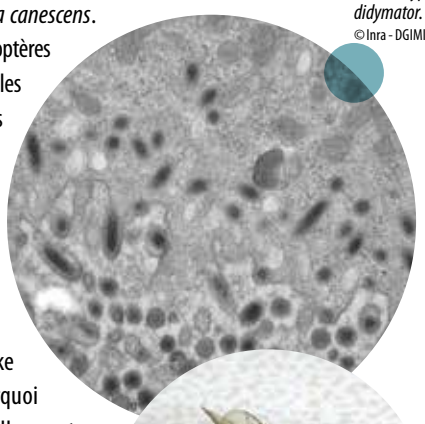
Le projet Ecophyto Lipocontrol s'attache à isoler et purifier des lipopeptides à partir de souches de bactéries du genre *Pseudomonas*. Ce genre bactérien est en effet connu pour être une importante source de ces molécules. Si les lipopeptides intéressent tant les scientifiques, c'est qu'ils possèdent des propriétés, notamment antibiotiques, qui peuvent inhiber le développement d'un agent pathogène. En outre, les lipopeptides peuvent induire chez la plante ciblée, des mécanismes de défense qui la rendent moins sensible aux bioagresseurs. Après avoir testé près de 800 souches de *Pseudomonas*, les chercheurs de l'Inra et de l'université de Lille ont isolé une demi-douzaine de lipopeptides candidats très prometteurs, dont l'efficacité va maintenant être vérifiée sur des plantes en pot. L'objectif, à terme, consiste à produire un bio-fongicide efficace contre une majorité de champignons ravageurs des cultures, tels que l'oïdium ou la pourriture grise.



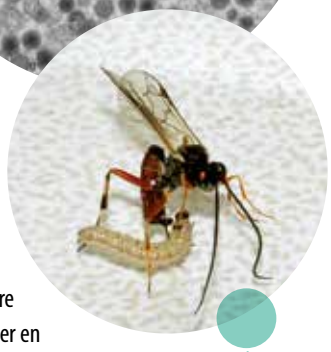
Mise en évidence de la microflore bactérienne épiphyte.
© Inra - J.L. Gaignard

Comprendre les interactions hôte-parasitoïde pour ouvrir de nouvelles pistes d'innovation

Depuis plusieurs années, les chercheurs s'attellent à une tâche immense : décrypter les mécanismes moléculaires qui régissent les interactions hôte-parasitoïde. Ils étudient plus spécifiquement le comportement des espèces *Ichneumonides*, tels *Hyposoter didymator* et *Venturia canescens*. Les larves de ces petits insectes hyménoptères se développent à l'intérieur des chenilles qui sont d'importants ravageurs des cultures. Au cours de leur évolution, ces parasitoïdes ont développé une stratégie d'infestation étonnante. La femelle injecte dans la chenille hôte, non seulement l'œuf, mais également des particules virales symbiotiques qu'elle produit et stocke uniquement dans ses ovaires. Pourquoi symbiotiques ? Eh bien parce qu'elles sont indispensables au développement du parasitoïde. D'une part, elles provoquent une réduction de l'alimentation et de la croissance de la chenille, d'autre part, elles inhibent ses réponses immunitaires. Dévorée peu à peu de l'intérieur, la chenille finit par mourir et la larve de l'hyménoptère s'extrait alors pour tisser son cocon et se transformer en nymphe. Les chercheurs de l'Inra ont constaté que si l'œuf est injecté seul, il meurt dans 95 % des cas. À l'inverse, si l'on injecte uniquement les particules virales, la chenille montre les mêmes signes d'infestation que si elle hébergeait le parasitoïde. Les scientifiques s'efforcent à présent de caractériser la variabilité des facteurs de virulence pour tenter d'identifier quels sont les parasitoïdes les mieux adaptés à la lutte contre une espèce donnée de ravageur. Autre piste explorée, l'identification de molécules de virulence qui pourraient faire l'objet d'une formulation en laboratoire, afin d'être utilisées dans le cadre du biocontrôle. Mais les chercheurs voient encore plus loin. Leur rêve : comprendre comment les particules virales se forment dans l'ovaire du parasitoïde. Ils pourraient alors envisager des expérimentations génétiques *in vitro*, de manière à obtenir des cellules capables de produire des particules virales intégrant des gènes produisant des molécules potentiellement intéressantes pour des applications de biocontrôle.



Virus d'*Hyposoter didymator*.
© Inra - DGIMI - M. Ravellec



Femelle d'*Hyposoter didymator* parasitant des larves de chenilles de noctuelle *Spodoptera frugiperda*. © Inra - M. Frayssinet

Des plantes à tannins pour lutter contre des vers parasites des chèvres et moutons

C'est un dommage collatéral inéluctable du pâturage ! Lorsque les chèvres ou les moutons exploitent l'herbe, ils sont confrontés à un risque sanitaire majeur en ingérant des larves de nématodes parasites qui vont s'installer dans leur tube digestif et entrainer des pertes zootechniques (retards de croissance ; chutes de production de lait) voire des signes cliniques ou des mortalités. La lutte contre ces bioagresseurs parasites est d'autant plus difficile qu'ils résistent désormais à la plupart des molécules chimiques anthelminthiques (vermifuges) commercialisées. Aujourd'hui pourtant, de nouvelles solutions se profilent, basées sur l'utilisation des tannins condensés. Ces substances naturelles (polyphénols) sont présentes dans certaines légumineuses, à commencer par le sainfoin, et leur confèrent des propriétés sanitaires contre les parasites. Elles permettent aussi de réduire les gaz à effet de serre émis par les ruminants. De plus, le sainfoin fixe l'azote dans les sols, ce qui contribue à limiter l'emploi d'engrais azotés. Et c'est aussi une plante mellifère. Bref, une vraie plante « star » de l'agroécologie ! Par ailleurs, une autre source potentielle de tannins condensés a également été identifiée. Il s'agit de divers coproduits agro-industriels, comme par exemple les « pellicules » qui entourent l'amande des châtaignes, noisettes et autres noix. Ces matières, pouvant représenter jusqu'à 20 % du coût d'achat, sont considérés comme des déchets alors qu'ils pourraient être valorisés. C'est l'un des objectifs du projet Combitan, financé par l'institut Carnot France Futur Elevage. Réunissant deux labos de recherche de l'Inra, des universités européennes et des partenaires privés, il vise à développer de nouveaux aliments ou compléments alimentaires enrichis en tannins condensés, par exemple des granulés déshydratés de sainfoin aisément stockables et manipulables.



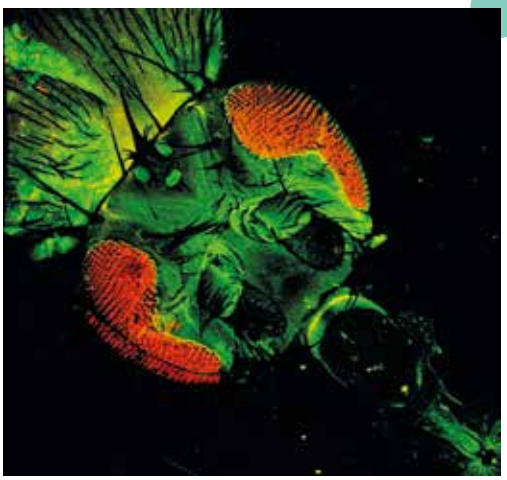
© Inra - B. Nicolas

Les toxines de *Bacillus thuringiensis*

Bacillus thuringiensis (Bt) est le micro-organisme star parmi les agents de biocontrôle. On l'utilise en France depuis les années 1930 ! Il existe plus de 70 souches différentes de *Bt* dont certaines ont un champ d'action très vaste. Trop, d'ailleurs pour être utilisées sans danger. Seules trois souches sont majoritairement employées aujourd'hui, dont *Bt kurstaki*, la plus répandue. Il faut dire que cette souche produit des toxines spécifiques qui ne tuent que les larves des lépidoptères, principaux ravageurs des plantes cultivées. Elle est aussi efficace pour lutter contre les chenilles processionnaires du pin et du chêne.



Cristal protéique de *Bacillus thuringiensis*, bactérie en fin de sporulation. © Inra - J. Ribier



Tête de Drosophile. © Inra - A. Robichon

Impact de *Bt*

En raison de son champ d'action très restreint en milieu naturel, la toxicité de *Bt* n'affecte pas d'autres espèces que celles ciblées. Mais qu'en est-il de l'homme ? En effet, même si, au contraire des produits chimiques, le bio-insecticide ne pénètre pas dans le fruit ou le légume, il reste en surface et peut donc être ingéré (d'où l'importance de laver les légumes, mêmes bio, afin d'en éliminer l'essentiel). Dans le cadre du projet Imbio, les chercheurs mesurent les réactions de défense d'un organisme non cible confronté à *Bt Kurstaki*. Les premières études réalisées sur *Drosophila melanogaster* montrent que la bactérie induit effectivement une réponse de l'intestin de l'insecte. En clair, sa présence ne passe pas inaperçue. En outre, en cas d'ingestion régulière, elle peine à être éliminée. Chez un individu sain, cela ne semble pas avoir d'incidence. Mais les chercheurs souhaitent à présent déterminer quelles conséquences peut entraîner cette exposition chronique pour les personnes immunodéprimées. D'autant qu'avec la disparition programmée de certains produits phytosanitaires, l'usage de *Bt* va augmenter sensiblement à l'avenir.

Durabilité du biocontrôle

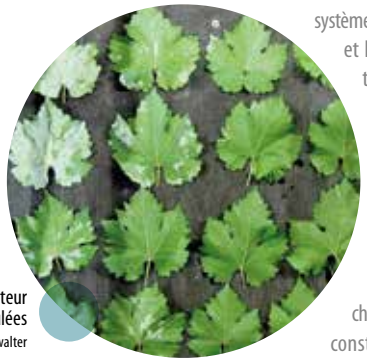
Les mécanismes d'action d'un agent de biocontrôle sont si complexes, qu'il est peu probable qu'ils puissent être contournés par un agent pathogène. Longtemps, cette idée a prévalu parmi les acteurs engagés dans le biocontrôle. Mais il y a une quinzaine d'années, les chercheurs ont quand même voulu s'en assurer. Ils ont prélevé dans la nature diverses souches de *Botrytis cinerea*, l'agent responsable de la pourriture grise. Après avoir confronté des générations successives du champignon à une molécule aux propriétés antibiotiques produite par une souche de *Pseudomonas*, ils se sont aperçus que certaines souches de *B. cinerea* développaient une résistance. D'autres processus de contournement ont été observés, notamment chez les insectes confrontés à *Bt*. Une sacrée guigne car la création d'un nouvel agent de biocontrôle est un processus très long et coûteux. Alors mieux vaut s'assurer qu'il sera efficace le plus longtemps possible ! C'est pour cela qu'il convient de les employer avec les mêmes précautions qu'on le fait aujourd'hui pour les produits chimiques : alterner les molécules et éviter les traitements successifs. Et désormais, les chercheurs contrôlent la durabilité des agents de biocontrôle, notamment en les soumettant à des souches différentes du même bioagresseur ciblé.



© Inra - B. Nicolas

LA STIMULATION DE DÉFENSES DES PLANTES, UN MODE D'ACTION PARTICULIER

Les agents et substances de biocontrôle ont divers modes d'action. Ils peuvent par exemple s'attaquer aux bioagresseurs, entrer en compétition avec eux pour la ressource, ou protéger la plante de leurs effets néfastes. Mais ils peuvent aussi agir directement sur la plante et l'amener à se défendre face au bioagresseur. Ils ont alors une action de stimulation de défense des plantes (SDP). Les plantes ont un système immunitaire, c'est-à-dire qu'elles disposent de mécanismes de résistance qui peuvent les protéger des maladies. Elles sont ainsi capables de détecter des molécules présentes à la surface des agents pathogènes ou excrétées par ces derniers, et que l'on appelle des éliciteurs. C'est le fait de reconnaître ces éliciteurs qui déclenche les défenses naturelles des plantes. Mais parfois, elles ne mettent pas en place ces mécanismes, ou les mettent en place trop tardivement, parce que l'agresseur s'est adapté pour passer inaperçu. Les SDP ont pour objectif de pallier cette défaillance. Ils stimulent le système immunitaire de la plante et lui confèrent une résistance accrue face à des maladies, comparé à une plante non traitée. Ici, l'objectif n'est pas d'éliminer le bioagresseur, mais de forcer la plante à activer ses propres armes pour s'en charger elle-même. Les SDP constituent l'un des leviers d'avenir du biocontrôle.



Feuilles de vigne traitées par un stimulateur des défenses naturelles des plantes (SDP) et inoculées par le mildiou. © Inra/Université de Bourgogne - A. Buchwalter


© Inra - C. Maitre

LES VIGNOBLES SOUS BONNE GARDE

LA VIGNE EST L'UNE DES FILIÈRES AGRICOLES QUI CONSOMMENT LE PLUS DE PRODUITS PHYTOSANITAIRES, DESTINÉS À LUTTER CONTRE LES INSECTES, CHAMPIGNONS OU OOMYCÈTES QUI SE MANIFESTENT TOUT AU LONG DE L'ANNÉE. POUR RÉDUIRE LEUR USAGE, LES CHERCHEURS DE L'INRA DÉVELOPPENT DES PRODUITS ET MÉTHODES DE BIOCONTRÔLE DANS TOUTES LES CATÉGORIES DONT CERTAINES, TRÈS EFFICACES, SONT ADOPTÉES PAR UN NOMBRE CROISSANT DE VITICULTEURS.

Les futures armes de la confusion sexuelle

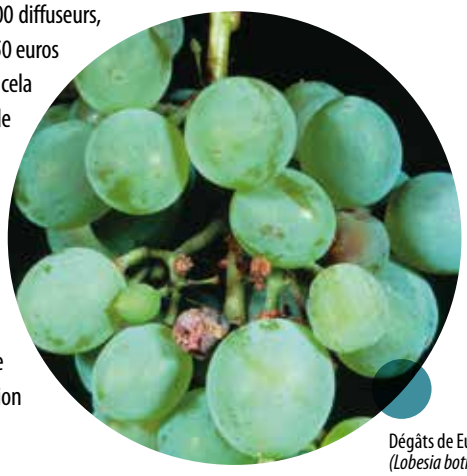
Un parfum délicat se répand dans le vignoble français. N'essayez pas de le percevoir, il est bien trop subtil pour nos récepteurs olfactifs et de toute manière, ce n'est pas à nous qu'il s'adresse. Cette odeur imperceptible, ce sont des phéromones synthétiques qui miment celles produites par des papillons femelles durant la reproduction. Et elles sont si entêtantes que les mâles, ne sachant plus où donner des antennes, s'éteignent avant d'avoir pu assurer leur descendance. Aussi élégante qu'efficace, la méthode de la confusion sexuelle, mise au point par l'Inra entre 1974 et 1995, connait un véritable boom depuis 2010. Pour autant, des freins subsistent, qui entravent son développement. Et le premier est d'ordre économique. Pour protéger un hectare de vigne, 500 diffuseurs, qu'il faut suspendre à la main dans les rangs, sont nécessaires. Coût de l'opération : de 200 à 250 euros par an et par hectare. Comparé aux traitements phytosanitaires classiques, c'est énorme. Mais cela va changer. En effet, de nouvelles sociétés investissent ce secteur et développent des modes de diffusion plus simples à mettre en œuvre. L'un des plus prometteurs consiste à encapsuler les microgouttes de phéromones dans une coque qui permet une diffusion progressive des odeurs. Avantage, ces minuscules containers peuvent être pulvérisés sous forme d'aérosol. Mais aucune formulation n'est encore homologuée en Europe. D'autres solutions sont en cours d'expérimentation, tels des diffuseurs à diffusion active pouvant être commandés à distance par l'intermédiaire d'un smartphone, ou des nanotubes de polymère diffusant les phéromones sur une très longue période. Toutes ces nouvelles technologies, combinées au développement de la concurrence, devraient conduire à une baisse des prix et, par conséquent, à une généralisation de leur usage, y compris dans d'autres filières.

LA CONFUSION SEXUELLE EN CHIFFRES

50 000 à 60 000 hectares
c'est la surface protégée par confusion sexuelle, soit 8 % environ du vignoble français

5 hectares c'est la surface minimum qu'il est conseillé de traiter par confusion sexuelle pour que la méthode soit efficace

3 grandes familles de diffuseurs ont reçu une homologation en France : Rak (mis au point par BASF en partenariat avec l'Inra au cours des années 90), Isonet et Puffer (qui est un pulvérisateur).



Dégâts de Eudemis *(Lobesia botrana)* sur raisin.
© Inra - J. Daumal

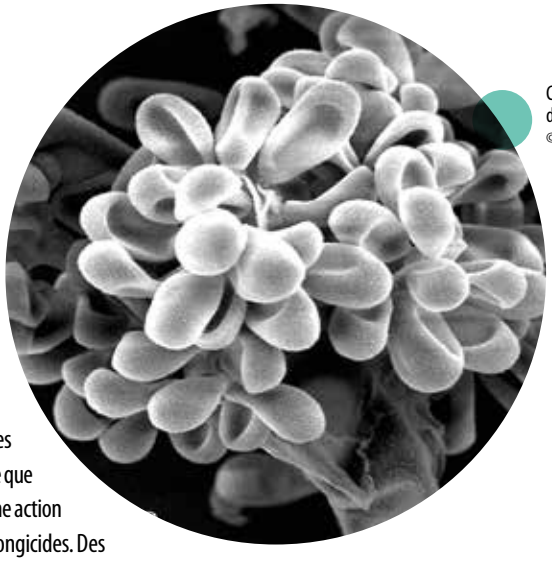
Traiter le mal à la racine

Les maladies du bois de la vigne, dont l'esca est la plus préoccupante, rendent 13 % du vignoble français improductif. Il n'existe aucun produit efficace pour les contrôler, depuis l'interdiction en 2001 de l'arsénite de soude. Mais de nouvelles stratégies de biocontrôle se profilent, basées sur l'utilisation d'un micro-organisme oomycète naturellement présent dans les vignobles, *Pythium oligandrum*. Lorsqu'il est appliqué sur le système racinaire d'un jeune plant de vigne, il induit une réaction de défense entraînant une résistance accrue à l'égard des champignons pathogènes responsables de l'esca. Durant trois ans, cette méthode nommée « biotisation », a été testée dans le cadre du projet Biotivigne qui réunit l'Inra, la société Biovitis et le pépiniériste Mercier Frères. Avec des résultats très encourageants puisque, sur les jeunes plants biotisés puis inoculés par le pathogène, les dommages causés par l'esca ont été réduits de moitié. Afin d'accroître encore cette efficacité, les chercheurs ont tenté d'associer *P. oligandrum* à certaines bactéries sélectionnées parmi une cinquantaine, pour leurs propriétés fongicides. Dans ce cas bien précis, le « cocktail » n'a pas montré l'efficacité escomptée. Mais de l'avis des scientifiques, ce type d'association pourrait fonctionner dans d'autres situations, et constitue sans doute un levier futur du biocontrôle. La société Biovitis poursuit maintenant les démarches en vue d'obtenir l'autorisation de mise sur le marché de deux formulations basées sur l'utilisation de *P. oligandrum*. La première pour la biotisation des jeunes plants, la seconde destinée aux plants adultes, un traitement annuel s'avérant nécessaire pour reconstituer la population d'oomycètes.



Inoculation de la bouture de vigne avec une souche répertoriée du champignon pathogène. © Inra - A. Girard

Organiser la résistance



Conidiophore portant des sporesde *Botrytis cinerea*. © Inra - I. Bornard & M. Bardin

Les stimulateurs de défense des plantes (SDP) vont-ils remplacer les fongicides dans la lutte contre les bioagresseurs de la vigne ? Sans doute pas avant longtemps. Mais bien employés, ils permettent déjà de réduire leur utilisation, comme l'ont constaté les chercheurs de l'Inra. Avant tout parce que les SDP possèdent le plus souvent une action multipathogène, au contraire des fongicides. Des travaux récents montrent ainsi qu'un SDP ciblant le champignon *Botrytis cinerea* limite aussi le développement de l'oïdium et du mildiou. Par ailleurs, lors d'expérimentations menées en 2012, les chercheurs ont constaté qu'une plante traitée par un SDP et ne recevant que la moitié de la dose de fongicides homologuée, résistait aussi bien à l'oïdium et au mildiou qu'une plante traitée uniquement aux fongicides. Et ce n'est qu'un début. Les scientifiques imaginent déjà comment améliorer cette efficacité. Notamment en sélectionnant des variétés partiellement résistantes aux champignons, et qui le deviendraient quasi totalement grâce à l'ajout de SDP, ce qui réduirait ainsi considérablement l'usage d'intrants chimiques ! Les premiers essais conduits en laboratoire montrent d'excellents résultats.

Le Projet GTD Free

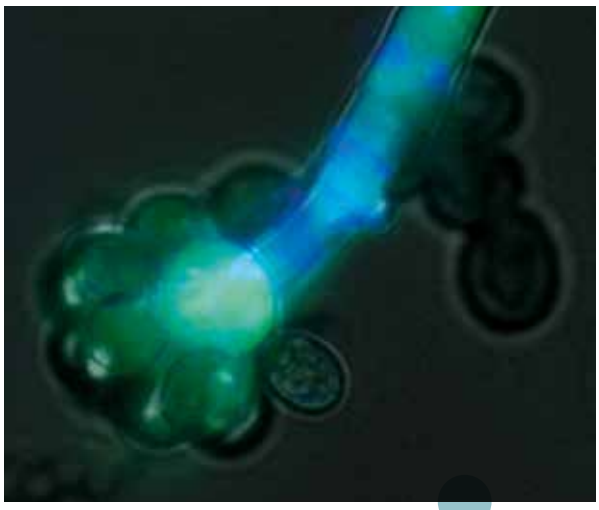
Les agents de biocontrôle utilisés seuls comme stimulateurs de défense des plantes ne fourniront pas une protection suffisante contre les maladies du bois. Mais ils ont toute leur place dans une stratégie de lutte plus générale. Lancé en 2016, le projet GTD Free, mené par l'Inra et financé par Jas Hennessy & Co et l'Agence nationale de la recherche (dans le cadre de son programme « Chaire industrielle »), s'inscrit dans cette démarche. Ses objectifs sont triples : identifier, dans la microflore de plants prélevés dans différentes régions du monde, les micro-organismes qui, utilisés seuls ou en association, peuvent présenter un intérêt dans le cadre du biocontrôle ; étudier l'influence de pratiques culturales comme la taille des vignes dans l'apparition ou le développement de nécroses dues aux agents pathogènes et sélectionner des cépages ou des clones tolérants aux maladies du bois.



© Inra

Des bactéries pour lutter contre la pourriture grise

Les producteurs de vins liquoreux l'appellent pourriture noble et guettent avec impatience les premiers signes de son développement sur les grains de raisins. Mais pour la grande majorité des vignerons qui la nomment pourriture grise, c'est une calamité qui peut causer des dommages quantitatifs et œnologiques considérables. L'usage de fongicides de synthèse permet de lutter efficacement contre *Botrytis cinerea* mais les conséquences pour l'environnement et la santé humaine sont loin d'être négligeables. Heureusement, des solutions alternatives se profilent. À l'issue d'un long processus de criblage, les chercheurs de l'Inra ont identifié quatre bactéries potentiellement utilisables en biocontrôle. Non seulement elles se révèlent très compétitives dans la course aux nutriments, privant ainsi *B. cinerea* des ressources nécessaires à son développement, mais elles génèrent aussi des molécules qui lui sont toxiques. Testée en champ, une des souches a montré, dans certains essais, une efficacité comparable à celle des fongicides de synthèse anti-Botrytis, mais elle nécessite deux fois plus d'applications. Or, plus de passage de tracteurs, c'est plus d'émissions de CO_2, plus de consommation de fuel... L'impact environnemental et économique n'étant pas négligeable, les chercheurs s'efforcent à présent d'optimiser l'efficacité de ce nouvel agent prometteur.



Conidiophore (au début de son développement) de *Botrytis cinerea*. © Inra - S. Fillinger

UNE PLATEFORME INSTRUMENTÉE DÉDIÉE AU BIOCONTRÔLE DE LA VIGNE

Evaluer l'efficacité de nouveaux produits de biocontrôle et de protection de la vigne ; caractériser leur mode d'action ou proposer des stratégies d'utilisation optimale au vignoble... Créée en 2018, la plateforme « bio-contrôle-vigne » est un outil expérimental coordonné par l'Inra et l'Institut français de la vigne et du vin (IFV) dans le cadre de l'Unité mixte technologique « Santé des écosystèmes viticoles économes en intrants » (Seven), au cœur du centre Inra Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux. Elle permet de conduire des projets de recherche sur les méthodes de biocontrôle en viticulture, notamment en partenariat avec les industriels. La plateforme se compose de différents dispositifs instrumentés au laboratoire, en serre et au vignoble, avec la possibilité de réaliser des contaminations artificielles des différents agents pathogènes sur le terrain. La plateforme offre aussi un ensemble de méthodes pour évaluer la réponse physiologique de la plante aux produits de biocontrôle. Cet outil unique en France est intégré au Consortium biocontrôle et bénéficie du soutien de l'Institut Carnot Plant2Pro.

Ça va buzzer dans les rangs !



Trichogramme. © Inra - P. Stengel

Et les parasitoïdes dans les vignes, c'est pour quand ? Bientôt, si l'on en juge par l'intérêt que les fournisseurs de ces insectes auxiliaires témoignent pour la filière. Ils seraient d'ailleurs les bienvenus pour lutter contre les vers de grappe (cochylis, eudémis), en complément de la confusion sexuelle.

Les recherches sont en cours, dans le cadre du projet européen Euclide coordonné par l'Inra : elles visent notamment à déterminer la meilleure façon d'aménager l'environnement pour optimiser l'efficacité des trichogrammes (ces micro-guêpes, mesurant souvent moins d'un millimètre de long, qui sont des parasitoïdes oophages) dans le cadre de la lutte par augmentation. La vigne étant un milieu très sec, notamment en fin de saison, il sera sans doute nécessaire d'installer des bandes fleuries dans les rangs, afin de permettre aux micro-guêpes de trouver la nourriture et l'eau nécessaires à leur bien-être. Mais il ne fait aucun doute que cette méthode de biocontrôle s'ajoutera bientôt à l'arsenal des outils utilisés en viticulture.

Les pratiques agricoles définissent la biodiversité



© Inra

Dans les paysages de culture annuelle, il est nécessaire de maintenir des habitats semi-naturels (tels que des forêts, des haies ou des prairies permanentes), afin de favoriser la présence d'auxiliaires et d'optimiser la régulation naturelle des ravageurs. Mais il en va tout autrement dans les vignobles, comme l'ont démontré les chercheurs de l'Inra impliqués dans le projet Solution. Dans ces cultures pérennes, ce sont, en premier lieu, les pratiques viticoles au sein des paysages qui déterminent la diversité et l'abondance des auxiliaires. Des travaux ont permis d'évaluer notamment les performances de l'agriculture biologique en termes de préservation de la biodiversité, et de quantifier les services rendus par cette biodiversité. Les résultats montrent que, dans les paysages dominés par la viticulture conventionnelle, la présence de quelques parcelles en agriculture biologique n'influence pas la quantité et la diversité des arthropodes, qui comptent parmi les plus importants prédateurs. En revanche, si la viticulture biologique est majoritaire, alors on observe un effet positif pour les auxiliaires, qui sont alors en moyenne plus abondants voire plus diversifiés. Avec pour conséquence, une meilleure régulation naturelle des ravageurs, y compris dans les parcelles proches exploitées selon des pratiques conventionnelles. Autre observation, contrairement aux idées reçues, le fait d'augmenter la proportion de parcelles conduites en viticulture biologique dans les paysages ne modifie pas la pression exercée par les ravageurs et les maladies. Notamment parce que les viticulteurs disposent de leviers agronomiques suffisants pour limiter leur propagation. Ces recherches vont permettre de proposer des pistes d'aménagement des paysages à de larges échelles, en réponse aux objectifs des pouvoirs publics, qu'il s'agisse de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires ou de préserver la biodiversité.

LES INITIATIVES AUTOUR DU BIOCONTRÔLE PILOTÉES PAR L'INRA

CONSORTIUM BIOCONTRÔLE : EXPLOITER LES SYNERGIES ENTRE ACTEURS DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION

Contribuer par la recherche, le développement et l'innovation à l'essor du biocontrôle en France, en concertation avec les pouvoirs publics, voilà l'objectif que se sont fixés les 48 membres du Consortium public-privé sur le biocontrôle, entré en phase opérationnelle en mars 2016. Il regroupe notamment dix instituts académiques, dont l'Inra, 13 instituts techniques et 17 entreprises privées. Dès sa création, le Consortium a initié un travail de cartographie dynamique des ressources disponibles dans la communauté recherche et innovation au niveau national comme européen : infrastructures d'expérimentation, collections, mais aussi toutes les compétences utiles à la création de produits, à l'évaluation de leur efficacité ou encore à leur durabilité et leur impact sur l'environnement. À présent, ses membres proposent et conduisent des projets de recherche. Un premier ensemble de projets est destiné à comprendre les facteurs de succès et d'échec des stratégies de biocontrôle et à mieux intégrer sur le long terme le biocontrôle dans les itinéraires culturaux. Initié en 2017 pour trois ans, le projet XP-BC amorce cette dynamique en mobilisant les acteurs du développement agricole et de la recherche autour de l'objectif de retravailler les méthodes d'expérimentation sur les produits de biocontrôle. Il est appuyé par un autre projet, méthodologique, CARé, qui vise à concevoir une nouvelle technologie pour évaluer l'état de stress abiotique d'une plante, un facteur à prendre en compte pour utiliser au bon moment les produits de biocontrôle et de stimulation de défense des plantes. Un second ensemble de projets vise à ouvrir de nouvelles pistes d'innovation pour les acteurs de la recherche et l'innovation. Lancé en 2018, le projet BCMicrobiome va par exemple s'attacher à développer des méthodes pour caractériser les interactions entre les micro-organismes associés à une plante, notamment pour identifier de potentiels agents de biocontrôle encore inconnus.

CARNOT PLANT2PRO : PRODUIRE PLUS ET MIEUX

Labellisé en juin 2016, Plant2Pro est le quatrième institut Carnot porté par l'Inra. Il regroupe 14 unités de recherche et trois Instituts techniques agricoles (Arvalis, Institut français de la vigne et du vin et Terres Innovia). Ainsi, Plant2Pro réunit plus de 1 260 scientifiques permanents reconnus au plan national et international et fédère les acteurs de la recherche et de la R&D notamment ceux des grandes cultures céréalières, oléo-protéagineuses et la vigne pour proposer une offre pluridisciplinaire, cohérente et unifiée aux industriels des secteurs des semences et plants, de la protection des cultures, du développement et du conseil en agriculture et de l'agriculture de précision. Objectif de Plant2Pro : concrétiser la double performance économique et environnementale, des productions végétales par une vision systémique combinant innovations variétales, protection des cultures, agronomie et systèmes de culture et agriculture numérique et de précision.

RÉSEAU EMBA : POUR UNE GESTION ÉCOLOGIQUE DES BIO-AGRESSEURS DE PLANTES CULTIVÉES

Promouvoir la recherche scientifique et le partenariat institutionnel et/ou avec des acteurs socio-économiques pour renforcer une gestion plus écologique des bio-agresseurs, tel est le pari de ce réseau EMBA *(Ecological Management of Bioagressors in Agroecosystems)*. Créé fin 2014 par l'Inra, il regroupe une centaine de scientifiques. Les questions soulevées et les modèles étudiés dans les équipes EMBA appréhendent tous le thème du biocontrôle sous des angles et/ou des approches différents et complémentaires.

RMT ELICITRA : ACCÉLÉRER LE DÉVELOPPEMENT DES STIMULATEURS DES DÉFENSES DES PLANTES

Les Réseaux mixtes technologiques (RMT) ont été créés par le Ministère de l'agriculture afin de favoriser le dialogue entre la recherche académique, les filières agricoles et l'enseignement. De l'avis de tous les acteurs, ils sont une réelle réussite, notamment par la valeur ajoutée considérable que génère ce partage de connaissances. Le RMT Elicitra, lancé en 2010 rassemble plusieurs filières : grandes cultures, fruits et légumes, vigne, horticulture, plantes aromatiques et médicinales. Il a été mis en place pour accélérer le développement de méthodes innovantes de stimulation de défense des plantes, basées sur l'utilisation des éliciteurs. Et, plus généralement, pour répertorier les SDP déjà disponibles, et vérifier dans quelle mesure ils peuvent être employés sur d'autres plantes que celles prévues initialement. Parmi les belles réussites du RMT Elicitra figure l'obtention d'une autorisation d'usage d'un SDP jusqu'alors employé uniquement en grande culture, pour le traitement de la rouille du chrysanthème. Avec pour résultat, la disparition quasi complète du bioagresseur.

LABCOM ESTIM : ÉVALUER RAPIDEMENT L'EFFICACITÉ D'UN SDP

Si l'efficacité des SDP est clairement démontrée en laboratoire, elle reste très variable en conditions réelles, ce qui constitue un frein à leur utilisation. Le LabCom Estim a pour mission de développer des outils diversifiés, simples et peu coûteux permettant soit d'évaluer rapidement l'efficacité d'un SDP, en contrôlant les défenses mises en œuvre par une plante après son application, en fonction des variations environnementales (outils complémentaires à la puce qPFD), soit de prédire cette efficacité en mesurant l'état de réceptivité de la plante au traitement. Les chercheurs souhaitent également observer dans quelle mesure les stimulateurs influent sur le microbiote de la plante, qui semble jouer un rôle important dans les mécanismes de résistance aux maladies. Pas question en effet de retenir un candidat qui la priverait de certains micro-organismes favorables. Ces recherches devraient déboucher sur des outils de terrain qui permettront aux exploitants d'optimiser l'usage des SDP.

DES INFRASTRUCTURES OUVERTES AUX PARTENAIRES « RECHERCHE – DÉVELOPPEMENT – INNOVATION »

L'Inra s'organise pour donner à ses partenaires publics comme privés un accès à des outils technologiques de pointe et des expertises mobilisables pour la recherche et l'innovation sur le biocontrôle. Deux infrastructures sont notamment ouvertes depuis 2018. À Sophia Antipolis, PlantBIOs est une infrastructure dédiée au biocontrôle proposant matériel biologique, formations, équipements et expertise pour l'exploration du gène à la cellule et l'expérimentation en conditions contrôlées ou en serre. À Bordeaux, l'Inra et l'Institut français de la vigne et du vin se sont associés pour créer une plateforme Biocontrôle-vigne proposant des capacités d'expérimentation et d'analyses sur le terrain comme au laboratoire, pour les projets portant sur des stratégies de biocontrôle contre les pathogènes de la vigne.

CONTACTS SCIENTIFIQUES

COORDINATEUR SCIENTIFIQUE :

Thibaut Malausa
thibaut.malausa@inra.fr - 04 92 38 65 06, Institut Sophia Agrobiotech : ISA (Inra, CNRS, Université Sophia Antipolis), Inra Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA)

DES ODEURS POUR LUTTER CONTRE LES RAVAGEURS

DES RÉCEPTEURS OLFACTIFS DANS LE VISEUR / QU'EST QUE ÇA SENT ? / LE CARPOCAPSE, ACCRO À L'ESTER / QUEL GOÛT ÇA A ?

Emmanuelle Jacquin-Joly
emmanuelle.joly@inra.fr - 01 30 83 32 12
Institut d'Ecologie et des sciences de l'environnement de Paris : iEES Paris (Inra, CNRS, IRD, Sorbonne Université, Universités Paris Diderot et Paris Est Créteil Val-de-Marne), Inra Ile-de-France - Versailles-Grignon

LA BRUCHE DE LA FÉVEROLE / STOP AUX MAUVAISES ODEURS ! / COMMENT REPRODUIRE UNE PHÉROMONE ?

Brigitte Frérot
brigitte.frerot@inra.fr - 01 30 83 31 44
iEES Paris, Inra Ile-de-France - Versailles-Grignon

QUEL GOÛT ÇA A ?

Frédéric Marion-Poll
Professeur AgroParisTech
frederic.marion-poll@egce.cnrs-gif.fr - 01 69 82 37 56
Laboratoire Évolution, génomes, comportement, écologie (CNRS, Université Paris-Sud, IRD)

Denis Thiéry
denis.thiery@inra.fr - 05 57 12 26 18
unité Santé et agroécologie du vignoble : SAVE (Inra, Bordeaux Sciences Agro), Inra Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

LES CHENILLES PROCESSIONNAIRES

Jean-Claude Martin
jean-claude.martin@inra.fr - 04 32 72 29 11
unité Entomologie et forêt méditerranéenne : UEFM, Inra PACA

TOUS AUX ABRIS !

Amélie Lefèvre
amelie.lefevre@inra.fr - 04 68 37 74 05
Domaine Expérimental Alénya-Roussillon, Inra Occitanie-Montpellier

Maria Navajas
maria.navajas-navarro@inra.fr - 04 99 62 33 34
Centre de biologie pour la gestion des populations : CBGP (Inra, Cirad, IRD, Montpellier SupAgro, MUSE), Inra Occitanie-Montpellier

LES MACRO-ORGANISMES : DES ALLIÉS DE TAILLE

DE PRÉCIEUSES MICRO-GUÊPES : LES TRICHOGRAMMES / TOUS UNIS POUR SAUVER LE BUIS / AUXILIAIRE DE DÉMINAGE

Elisabeth Tabone
elisabeth.tabone@inra.fr - 04 97 21 25 17,
UEFM, Inra PACA

UNE COLLECTION DE TRICHOGRAMMES UNIQUES AU MONDE

Jean-Yves Rasplus
jean-yves.rasplus@supagro.inra.fr - 04 99 62 33 33
CBGP, Inra Occitanie-Montpellier

L'EXEMPLE EMBLÉMATIQUE DE LA PYRALE DU MAÏS / AMÉLIORER LE VIVANT / LUTTE BIOLOGIQUE PAR ACCLIMATATION / ENTOMOPOLIS : LES INSECTES SOUS HAUTE SURVEILLANCE - LE CRÉPUSCULE DU CYNIPS DU CHÂTAIGNIER - *MASTRUS RIDENS* VA CROQUER LE CARPOCAPSE DE LA POMME

Nicolas Ris
nicolas.ris@inra.fr - 04 92 38 65 01
ISA, Inra PACA

QUAND LE BIOCONTRÔLE SE MET AU VER / LES VERS, FUTURS COURSIERS DE LA LUTTE BIO

Jean-Claude Ogier
jean-claude.ogier@univ-montp2.fr - 04 67 14 33 77
unité Diversité, génomes et interactions micro-organismes-insectes : DGIMI (Inra, Université Montpellier), Inra Occitanie-Montpellier

LES NÉMATODES ENTOMOPATHOGÈNES ET LEURS BACTÉRIES SYMBIOTIQUES AU SERVICE DU BIOCONTRÔLE

Sylvie Pagès
sylvie.pages@inra.fr - 04 67 14 33 77

Alain Givaudan
givaudan@univ-montp2.fr - 04 67 14 48 12
DGIMI, Inra Occitanie-Montpellier

LES VERS, FUTURS COURSIERS DE LA LUTTE BIO

Sophie Gaudriault
sophie.gaudriault@inra.fr - 04 67 14 48 12

QUAND LA GUÊPE PREND LA MOUCHE

Jean-Luc Gatti
jean-luc.gatti@inra.fr - 04 92 38 65 64
ISA, Inra PACA

LA LUTTE BIOLOGIQUE PAR CONSERVATION / L'ORGANISATION DES BORDS DE PARCELLES ET DES PAYSAGES

Claire Lavigne
claire.lavigne@inra.fr - 04 32 72 26 66
unité Plantes et systèmes de culture horticoles : PSH, Inra PACA

LES MÉSANGES, GARDIENNES DES VERGERS

Jean-Charles Bouvier
jean-charles.bouvier@inra.fr - 04 32 72 26 76
PSH, Inra PACA

DU BON USAGE DES AUXILIAIRES

Ludovic Mailleret
ludovic.mailleret@inra.fr - 04 92 38 65 05

Elodie Vercken
elodie.vercken@inra.fr - 04 92 38 65 53
ISA, Inra PACA

LE PROJET PEERLESS

Etienne Klein
etienne.klein@inra.fr - 04 32 72 21 54

Lionel Roques
lionel.roques@inra.fr - 04 32 72 21 53
Biostatistique et processus spatiaux, Inra PACA

QUAND LE CLIMAT S'EN MÊLE

Nicolas Desneux
nicolas.desneux@inra.fr - 04 92 38 64 27
ISA, Inra PACA

S@M, L'ALLIÉ NUMÉRIQUE DES HORTICULTEURS

Christine Poncet
christine.poncet@inra.fr - 04 92 38 65 26
ISA, Inra PACA

UNE PANOPLIE DE MICRO-ORGANISMES PROTECTEURS

BEAUCOUP D'APPELÉS, TRÈS PEU D'ÉLUS

Marc Bardin
marc.bardin@inra.fr - 04 32 72 28 42

Philippe Nicot
philippe.nicot@inra.fr - 04 32 72 28 59
unité Pathologie végétale, Inra PACA

OOMYCIDE VOLONTAIRE

Michel Ponchet
michel.ponchet@inra.fr - 04 92 38 65 27
ISA, Inra PACA

BIOFILM D'HORREUR

Eric Galiana
eric.galiana@inra.fr - 04 92 38 64 72
ISA, Inra PACA

VÉRIFIER RAPIDEMENT L'EFFICACITÉ D'UN SDP

Marie-Noëlle Brisset
marie-noelle.brisset@inra.fr - 02 41 22 57 13
Institut de recherche en horticulture et semences : IRHS (Inra, Agrocampus Ouest, Université d'Angers), Inra Pays de la Loire

LE BIOFILM BOOSTE L'EFFICACITÉ DE L'AGENT DE BIOCONTRÔLE

Romain Briandet
romain.briandet@inra.fr - 01 69 53 64 77

Caroline Pandin
caroline.pandin@inra.fr
Institut Microbiologie de l'alimentation au service de la santé : Micalis (Inra, AgroParisTech), Inra Ile-de-France -Jouy-en-Josas

UN VIRUS POUR LUTTER CONTRE LE CARPOCAPSE / QUAND LE CARPOCAPSE FAIT DE LA RÉSISTANCE

Myriam Siegwart
myriam.siegwart@inra.fr - 04 32 72 24 44
PSH, Inra PACA

LES DENSOVIRUS, PETITS, MAIS COSTAUDS

Marie-Hélène Ogliastro
marie-helene.ogliastro@inra.fr - 04 67 14 41 19
DGIMI, Inra Occitanie-Montpellier

LE PHYTOBIOME : UNE SOURCE INÉPUISABLE DE MICRO-ORGANISMES CANDIDATS POUR LE BIOCONTRÔLE

Corinne Vacher
corinne.vacher@inra.fr – 05 57 12 27 24
unité Biodiversité, gènes et communautés (Inra, Université de Bordeaux)
Inra Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

FAVORISER L'ACTION D'ALLIÉS CACHÉS DANS LES SOLS

Christian Steinberg
christian.steinberg@inra.fr - 03 80 69 30 50

Sebastien Terrat
sebastien.terrat@inra.fr - 03 80 69 33 83
unité Agroécologie
(Inra, AgroSup Dijon, Université de Bourgogne, CNRS)
Inra Dijon - Bourgogne-Franche-Comté

LES SUBSTANCES NATURELLES BÉNÉFIQUES

AU CŒUR DE LA PATATE DOUCE

Jean-Luc Poëssel
jean-luc.poessel@inra.fr - 04 32 72 26 78
unité Génétique et amélioration des fruits et légumes, Inra PACA

UNE SÉLECTION IMPITOYABLE / DURABILITÉ DU BIOCONTRÔLE

Marc Bardin
marc.bardin@inra.fr - 04 32 72 28 42

Philippe Nicot
philippe.nicot@inra.fr - 04 32 72 28 59
unité Pathologie végétale, Inra PACA

COMPRENDRE LES INTERACTIONS HÔTE-PARASITOÏDE POUR OUVRIR DE NOUVELLES PISTES D'INNOVATION

Anne Nathalie Volkoff
anne-nathalie.volkoff@inra.fr - 04 67 14 41 18
DGIMI, Inra Occitanie-Montpellier

DES PLANTES À TANNINS POUR LUTTER CONTRE DES VERS PARASITES DES CHÈVRES ET MOUTONS

Hervé Hoste
h.hoste@envt.fr - 05 61 19 38 75
unité Interactions hôtes-agents pathogènes (Inra, ENVT), Inra Occitanie-Toulouse

Vincent Niderkorn
vincent.niderkorn@inra.fr -04 73 62 40 69
Unité de recherche sur les herbivores (Inra, VetAgro Sup), Inra Auvergne-Rhône-Alpes

LES TOXINES DE *BACILLUS THURINGIENSIS* / IMPACT DE *BT*

Armel Gallet
chercheur CNRS
gallet@unice.fr - 04 92 38 65 19
ISA, Inra PACA

LA STIMULATION DE DÉFENSES DES PLANTES, UN MODE D'ACTION PARTICULIER

Marie-Noëlle Brisset
marie-noelle.brisset@inra.fr - 02 41 22 57 13
IRHS, Inra Pays de la Loire

LES VIGNOBLES SOUS BONNE GARDE

LES FUTURES ARMES DE LA CONFUSION SEXUELLE / ÇA VA BUZZER DANS LES RANGS !

Denis Thiéry
denis.thiery@inra.fr - 05 57 12 26 18

Lionel Delbac
lionel.delbac@inra.fr - 05 57 12 26 27
unité Santé et agroécologie du vignoble : SAVE (Inra, Bordeaux Sciences Agro), Inra Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

TRAITER LE MAL À LA RACINE

Marc Fermaud
marc.fermaud@inra.fr - 05 57 12 26 22

Jonathan Gerbore
jonathan.gerbore@inra.fr
SAVE, Inra Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

ORGANISER LA RÉSISTANCE

Marie-France Corio-Costet
marie-france.corio-costet@inra.fr - 05 57 12 26 25
SAVE, Inra Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

DES BACTÉRIES POUR LUTTER CONTRE LA POURRITURE GRISE

Marc Fermaud
marc.fermaud@inra.fr - 05 57 12 26 22
SAVE, Inra Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

UNE PLATEFORME INSTRUMENTÉE DÉDIÉE AU BIOCONTRÔLE DE LA VIGNE

François Delmotte
francois.delmotte@inra.fr - 05 57 12 26 14
SAVE, Inra Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

LE PROJET GTD FREE

Patrice Rey
patrice.rey@inra.fr - 05 57 12 26 14
SAVE, Inra Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

LES PRATIQUES AGRICOLES DÉFINISSENT LA BIODIVERSITÉ

Adrien Rusch
adrien.rusch@inra.fr - 05 57 12 26 43
SAVE, Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

LES INITIATIVES AUTOUR DU BIOCONTRÔLE PILOTÉES PAR L'INRA

LE CONSORTIUM BIOCONTRÔLE
www.consortium-biocontrole.fr

Cécilia Multeau
cecilia.multeau@inra.fr - 04 99 61 21 58
département Santé des plantes et environnement de l'Inra

INSTITUT CARNOT PLANT2PRO
www.plant2pro.fr

Alice Valles
alice.valles@inra.fr - 01 42 75 92 49
Inra Transfert

RMT ELICITRA
elicitra.org

Michel Ponchet
michel.ponchet@inra.fr - 04 92 38 65 27
ISA, Inra PACA

RÉSEAU EMBA
www6.inra.fr/emba

Anne Nathalie Volkoff
anne-nathalie.volkoff@inra.fr - 04 67 14 41 18
DGIMI, Inra Occitanie-Montpellier

LABCOM ESTIM
www6.inra.fr/labcom-estim

Philippe Grappin
philippe.grappin@inra.fr - 02 49 18 04 83

Marie-Noëlle Brisset
marie-noelle.brisset@inra.fr - 02 41 22 57 13
IRHS, Inra Pays de la Loire

Conception et réalisation : Studio graphique - Inra-UC / Photo de couverture : © Fotolia

INRA
SCIENCE & IMPACT

147, rue de l'Université
75338 Paris Cedex 07
France

Tél. +33(0)1 42 75 91 86
inra.fr

JUILLET 2018