

des modèles théoriques. En 2011, nous avons montré que dans cette configuration, une désynchronisation sous l'effet d'un impact crée des mouvements fluides qui pourraient avoir excité une instabilité hydrodynamique dite elliptique, rendant l'écoulement turbulent et donc favorable à l'effet dynamo. Le champ magnétique présent sur la Lune il y a quatre milliards d'années aurait ainsi pu résulter d'une succession d'épisodes de dynamo associés aux turbulences dues aux impacts. Le champ magnétique lié à chaque impact aurait alors eu une durée de vie d'une dizaine de milliers d'années, échelle de temps nécessaire à la Lune pour se synchroniser de nouveau.

Des scénarios complémentaires

Ainsi, le champ magnétique lunaire résulte sans doute de mécanismes qui puisent leur énergie dans la rotation de la Lune ou dans les impacts météoritiques. Ces deux modèles de dynamo lunaire sont assez séduisants, car ils expliquent pourquoi

le champ magnétique a pu exister dans le passé et avoir aujourd'hui disparu.

Loin de s'exclure mutuellement, ces mécanismes sont d'ailleurs compatibles, voire complémentaires. Ainsi, un champ magnétique continu pourrait avoir été engendré par une dynamo de précession, à laquelle se seraient superposées des périodes transitoires où le champ magnétique était plus intense en raison de l'impact d'une météorite. Pour distinguer ces différents mécanismes ou établir leur chronologie, il faudrait disposer d'un jeu de données paléomagnétiques précis et complet, échantillonné sur toute la surface et sur toute l'histoire de la Lune. Ce qui serait difficilement réalisable.

Les différents modèles proposés soulèvent de nouvelles questions. Par exemple, l'origine de l'instabilité hydrodynamique de précession reste mal connue, et la production d'un champ magnétique par ce biais n'a été caractérisée que dans des configurations limitées et peu turbulentes, accessibles aux simulations numériques. Une expérience magnétohydrodynamique visant à compléter ces résultats est actuelle-

ment en cours de développement à Dresde, en Allemagne. De même, le modèle de dynamo produit par l'instabilité elliptique est sans doute correct, mais il reste à le prouver, par exemple par des simulations numériques. L'absence de symétrie de révolution, hypothèse souvent exploitée pour mener à bien les simulations, impose de développer de nouvelles approches pour aborder la magnétohydrodynamique dans une géométrie ellipsoïdale.

Ces différents scénarios, développés pour expliquer le magnétisme lunaire, ont en outre une portée plus générale. Ils montrent que les modèles développés pour comprendre la Terre ne sont pas transposables. Contrairement à ce qui a longtemps été admis, la présence d'un champ magnétique planétaire n'implique pas toujours des mouvements de convection au sein d'une couche fluide interne. Comme pour la Lune, d'autres mécanismes seront sans doute nécessaires pour comprendre les champs magnétiques de Mercure, de Ganymède ou des planètes extrasolaires, voire de certains gros astéroïdes. ■



france culture

LA MARCHÉ DES SCIENCES

Découvertes, inventions, aventures savantes au fil de l'Histoire

Aurélie Luneau
14h-15h / chaque jeudi

franceculture.fr

en partenariat avec **POUR LA SCIENCE**

© 2013 France Culture. Tous droits réservés. Photo: M. D. / Getty Images. 2013

La lutte biologique, stratégie durable



1. DES COCONS D'UNE GUÊPE PARASITOÏDE
sont accrochés au dos d'une chenille. La guêpe pond ses œufs dans le corps de la chenille, où les larves se développent avant de percer la cuticule et de former leurs cocons. À l'inverse des parasites, les parasitoïdes tuent leur hôte en se développant. Ils sont très utilisés dans la lutte biologique.

En France, la pyrale du maïs *Ostrinia nubilalis*, un petit papillon, cause des dégâts majeurs aux cultures. Ses larves dévorent de multiples plantes, tels le maïs ou le tournesol, et peuvent faire chuter les rendements de 30 pour cent. Pour les combattre, la Société *Biotop*, en coopération avec l'INRA (Institut national de la recherche agronomique), réalise des lâchers annuels de trichogrammes *Trichogramma brassicae*: cet hyménoptère parasitoïde pond dans les œufs de pyrale (les parasitoïdes sont des organismes se développant sur ou à l'intérieur d'un autre organisme, qu'ils finissent par tuer). Plus de 75 pour cent des œufs de pyrale sont détruits par ce traitement, qui aide à limiter la pullulation de l'insecte, et donc les dommages aux récoltes.

Ce type de programme est qualifié de lutte biologique. En 1971, l'Organisation internationale de lutte biologique et intégrée contre les animaux et les plantes nuisibles, ou OILB, a défini la lutte biologique

on introduit des organismes antagonistes, qui sont des prédateurs, des pathogènes ou des parasitoïdes. C'est d'ailleurs initialement pour lutter contre les ravageurs que le concept de lutte biologique a été formalisé, lors d'un congrès international d'entomologie à Stockholm, en 1948. Cependant, la lutte biologique vise tous les organismes nuisibles: les micro-organismes pathogènes des plantes cultivées, les plantes indésirables et invasives (telles les mauvaises herbes), les insectes vecteurs de maladies animales (moustiques, mouches tsé-tsé) ou végétales (pucerons, mouches blanches), ainsi que de petits vertébrés tels que les rats.

Un temps affaiblie par l'arrivée des pesticides, la lutte biologique est revenue sur le devant de la scène. Son importance est variable selon les pays: en France, elle était par exemple appliquée sur deux pour cent de la surface agricole utile (en 2004), contre 12 pour cent en Autriche (en 2002). Son essor récent est particulièrement marqué en raison d'une prise de conscience générale

La lutte biologique consiste à réguler les populations d'organismes nuisibles aux cultures ou à la santé à l'aide d'autres organismes (prédateurs, pathogènes...). Depuis quelques années, elle connaît un essor important.

Paul-André Calatayud

comme «l'utilisation d'organismes vivants ou de leurs produits pour empêcher ou réduire les pertes ou dommages causés par des organismes nuisibles et les maintenir en dessous d'un seuil de nuisibilité». Au cours des dix dernières années, les études relevant de cette approche ont été près de quatre fois plus nombreuses que durant la décennie précédente.

Les travaux sur la lutte chimique se sont aussi notablement accrus, mais ils portent surtout sur la toxicité des pesticides, sur les méthodes pour les détecter (dans les aliments, dans l'eau), sur les mécanismes de résistance développés par les insectes... L'ère où les pesticides étaient considérés comme une solution miracle et où ils occultaient toutes les autres méthodes de lutte semble donc révolue.

La plupart des travaux de lutte biologique concernent la protection des cultures contre les insectes ravageurs. Pour lutter contre eux,

des inconvénients de la lutte chimique: pollution des sols et de l'environnement, danger pour la santé humaine, efficacité limitée dans le temps... Nous présentons ici le principe et l'arsenal de la lutte biologique, qui se perfectionne de plus en plus avec le développement de nos connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes et sur les mécanismes biologiques en jeu dans les interactions des différents acteurs.

La définition de la lutte biologique donnée par l'OILB implique une notion importante d'équilibre. À l'inverse des méthodes chimiques, la lutte biologique ne vise pas nécessairement l'éradication de l'organisme nuisible, mais son maintien à une densité raisonnable. Ainsi, elle respecte mieux les écosystèmes.

En aménageant ces systèmes, notamment pour les cultures, l'homme les a bouleversés. Il a déséquilibré les réseaux

L'ESSENTIEL

■ **Utilisée depuis des millénaires, la lutte biologique a été marginalisée dans de nombreux pays par l'arrivée des pesticides. Ces derniers étant peu écologiques, elle revient en force.**

■ **Elle vise principalement les insectes ravageurs de cultures, mais aussi les organismes nuisibles à la santé, tels que la mouche tsé-tsé.**

■ **On cherche à améliorer son efficacité en étudiant les mécanismes biologiques en jeu dans les interactions des différents acteurs.**

© William D. Adams - The Stock ConScience Faction/Corbis

trophiques (les réseaux de chaînes alimentaires) en privilégiant des maillons particuliers de ces réseaux. Ainsi, quand une seule espèce végétale est cultivée (monoculture), elle influe sur la faune locale d'insectes, ou entomofaune. Les insectes qui se nourrissent de ce végétal quittent en effet leur habitat initial pour aller vers cette culture où les plantes sont abondantes, en bon état, riches en nutriments et présentes chaque année. Leurs organismes antagonistes (prédateurs, parasites, etc.) mettent du temps à s'apercevoir de leur présence dans cette zone et ne parviennent pas à empêcher leur pullulation, comme ils le faisaient dans la zone d'origine.

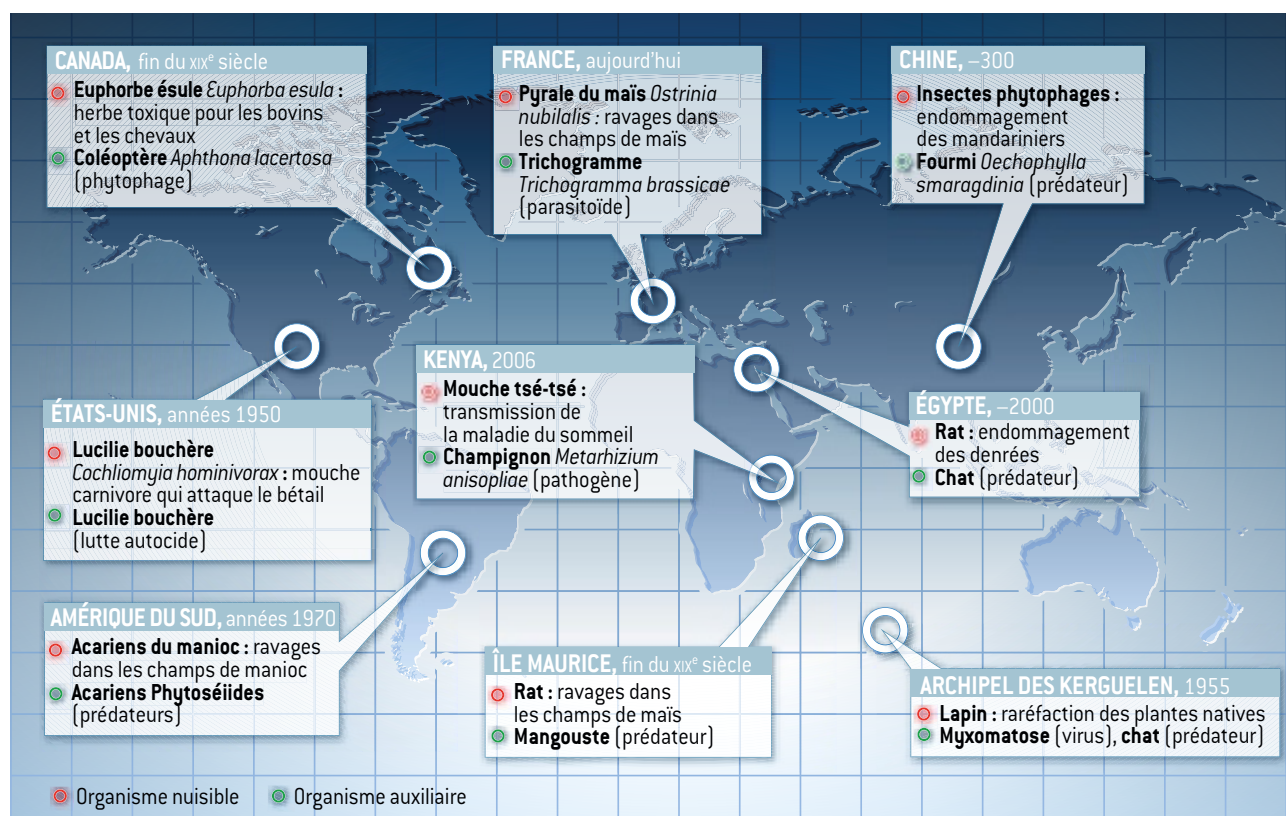
Ce phénomène est accentué lorsque l'insecte phytophage est exotique, c'est-à-dire introduit accidentellement dans une nouvelle zone géographique. Dans ce cas, ses antagonistes sont le plus souvent absents de sa région d'arrivée. Il se crée alors un déséquilibre de la chaîne trophique

plante-insecte phytophage-antagonistes. La lutte biologique vise à rétablir l'équilibre de l'écosystème en introduisant de nombreux organismes antagonistes, en une seule ou plusieurs fois. Cela prend du temps, mais, en contrepartie, cette stratégie peut se révéler efficace à long terme, tout en respectant l'environnement.

Une arrivée tardive en Occident

La lutte biologique ne date pas d'hier. Elle a fait son apparition en Égypte, environ 2000 ans avant notre ère : le chat y a été domestiqué afin de lutter contre les rongeurs, redoutables fléaux pour les denrées stockées. En Asie, elle a aussi été appliquée très tôt : vers 300 avant notre ère, dans la province du Guangdong, au Sud de la Chine, des fermiers effectuaient des lâchers de fourmis *Oecophylla smaragdina*, prédatrices d'insectes ravageurs des mandariniers.

En Occident, la lutte biologique est arrivée plus tardivement. Du XVI^e siècle jusqu'au début du XVIII^e, divers naturalistes ont étudié des prédateurs et des parasitoïdes d'insectes. En 1740, le physicien et naturaliste français René-Antoine Ferchault de Réaumur a eu l'idée de s'en servir pour lutter contre les organismes nuisibles. En 1760, la lutte biologique a commencé à être utilisée par les Européens, principalement dans leurs possessions insulaires : à l'île Maurice et en Nouvelle-Zélande, le martin triste (*Acridotheres tristis*), un passereau de la taille d'un merle, a été introduit pour lutter contre les insectes ravageurs de canne à sucre ; et dans l'île de Trinidad, des mangoustes, de petits mammifères carnivores, ont été disséminées pour combattre les rats. Ce n'est qu'à partir du XIX^e siècle que la lutte biologique a été utilisée sur les continents, par exemple aux États-Unis et en France, pour lutter contre différents ravageurs,



2. DES PROGRAMMES DE LUTTE BIOLOGIQUE ont été appliqués un peu partout dans le monde. Ils utilisaient le plus souvent des insectes contre d'autres insectes ravageurs de récolte, mais aussi des micro-organismes pathogènes contre des insectes, des mammifères contre des mammifères, des insectes contre des plantes... Dans le cas de la lutte autocide, on se sert de l'organisme nuisible lui-même, en lâchant des mâles préalablement stérilisés qui entrent en compétition avec les mâles sauvages pour les accouplements. Toutes ces opérations ont

permis de limiter la prolifération des organismes nuisibles ciblés, voire de faire chuter drastiquement leurs populations. Ainsi, au Kenya, des chercheurs de l'ICIPE (*International Center of Insect Physiology and Ecology*) ont éliminé grâce à un pathogène 82 pour cent des mouches tsé-tsé peuplant une île du lac Victoria ; ces mouches transmettent à l'homme et au bétail une maladie parasitaire, couramment nommée maladie du sommeil, causant des pertes annuelles de production bovine (viande et lait) estimées à près d'un milliard d'euros pour l'Afrique.

tels le bombyx disparate (un papillon de nuit), le phylloxéra (un puceron) et des cochenilles.

En 1939, les pesticides sont arrivés sur le marché, notamment le dichlorodiphényltrichloréthane, ou DDT. Ils ont concurrencé la lutte biologique, qui a décliné, voire disparu par endroits. Elle est revenue en force à partir des années 1960, lorsque des résistances aux insecticides se sont développées et que l'homme a commencé à prendre conscience des conséquences néfastes de ces produits sur la santé et sur l'environnement. Ce phénomène s'est accéléré récemment.

Même durant sa période creuse, la lutte biologique est restée très utilisée par les pays du Sud, par exemple en Afrique et en Amérique du Sud, où les agriculteurs n'avaient pas les moyens d'acheter des pesticides. De grands centres internationaux, tels le CIAT (*Centro Internacional de Agricultura Tropical*), l'IITA (*International Institute of Tropical Agriculture*) et l'ICIPE (*International Centre of Insect Physiology and Ecology*), les ont aidés par des programmes de grande envergure. D'autres pays, tel Cuba, que l'embargo américain empêchait d'avoir accès aux pesticides, ont été contraints de privilégier la lutte biologique.

Ainsi, la lutte biologique compte nombre d'applications emblématiques un peu partout dans le monde (voir la figure page ci-contre). Dans certains cas, les organismes nuisibles et auxiliaires sont tous deux des vertébrés, les premiers étant par exemple des rats et les seconds des mangoustes. Dans de nombreux autres cas, on fait appel à des insectes (prédateurs et parasitoïdes) contre des insectes ravageurs de culture. En Afrique, l'IITA et l'ICIPE ont utilisé des guêpes parasitoïdes (*Epidonocarsis lopezi* et *Cotesia flavipes*) à partir du milieu des années 1980 pour limiter respectivement les pullulations de cochenilles du manioc (*Phenacoccus manihoti*) et de lépidoptères foreurs des tiges de maïs (*Chilo partellus*), introduits accidentellement sur le continent.

On combat aussi fréquemment les insectes ravageurs de cultures en pulvérisant des micro-organismes pathogènes. Ces derniers rendent malades les insectes, qui contaminent leurs congénères et finissent par mourir. Parmi les plus utilisés, on trouve : les champignons des genres *Beauveria* et *Metarhizium* ; la bactérie *Bacillus thuringiensis*, employée contre les insectes ravageurs de culture, les larves de moustiques et de simules (des moucheron) ; des virus par-

L'autodissémination, une épidémie bénéfique

L'autodissémination est une contamination en cascade des insectes ravageurs. Des études sont en cours pour l'appliquer à *Busseola fusca*, un petit papillon de nuit qui est un important ravageur du maïs en Afrique subsaharienne. Il provoque jusqu'à 70 pour cent de pertes de récolte. La méthode de lutte proposée combine des pièges à phéromones et des spores de champignons entomopathogènes : un mélange de phéromones particulièrement attractif pour les mâles de *B. fusca* est disposé dans des bouteilles tapissées de spores de *Beauveria bassiana*, un champignon très pathogène pour ce papillon.

Les mâles de *B. fusca* pénétrant dans le piège, attirés par les phéromones, et entrent en contact avec des spores du champignon en explorant l'intérieur du dispositif. Ils en ressortent couverts de spores, notamment au niveau des parties génitales. Ils s'accouplent ensuite avec des femelles, qui se trouvent elles-mêmes contaminées par des spores du champignon. Elles les déposeront sur la plante où elles pondront, et ces spores s'attacheront aux jeunes larves qui éclore.

Les spores adhèrent à la cuticule des insectes (au stade adulte ou larvaire), puis germent. Elles forment ainsi des

filaments nommés mycélium et synthétisent des chitinasés et des prothéases, enzymes qui inhibent la formation de la cuticule, voire la détruisent. Dès lors, le mycélium pénètre dans le corps de l'insecte et atteint l'hémolymphe (le « sang » de l'insecte), où il libère des toxines qui tuent l'animal.

La cascade de contamination provoquée par le piège entraîne donc non seulement la mort des mâles et des femelles, mais aussi celle des larves. Cette technique permet de réduire de près de 75 pour cent les dégâts sur des plantations en laboratoire. Elle doit maintenant être testée dans des champs cultivés.

ticuliers, les baculovirus, pathogènes seulement pour les invertébrés ; des nématodes (de petits vers) des genres *Steinernema* et *Heterorhabditis*, qui parasitent les larves d'insectes ravageurs dans le sol.

Quant à la lutte contre les mauvaises herbes, elle mobilise essentiellement des insectes, et parfois des pathogènes. Ainsi, on cherche à mettre en place un programme de lutte biologique contre l'ambrosie, ou ambrosie à feuilles d'armoise, qui s'est récemment propagée en France et en Europe. Cette mauvaise herbe venue d'Amérique du Nord a un pollen allergisant et envahit tous les sols nus, empêchant leur colonisation par des plantes indigènes.

Divers auxiliaires (insectes ou champignons phytopathogènes) sont actuellement testés.

Notons qu'un même organisme peut être utile dans certaines circonstances, nuisible dans d'autres. Ainsi, le virus de la myxomatose a été employé pour endiguer les pullulations de lapins (notamment en Australie, où ils ont été introduits par un chasseur en 1959), mais il est également nuisible pour les animaux d'élevage. Pour s'en prémunir, le Laboratoire français Bio Espace a développé une méthode de vaccination originale : des puces aux pièces buccales chargées de vaccin antimyxomatose ont été lâchées dans la nature ; lorsqu'elles sucent le sang des lapins, elles les vaccinent, ce qui permet d'éviter la propagation de la maladie.

LA LUTTE BIOLOGIQUE EST APPARUE

en Égypte, environ 2000 ans avant notre ère : le chat y a été domestiqué pour lutter contre les rongeurs.

Cette technique peut être élargie à la lutte contre d'autres maladies, éventuellement transmissibles de l'animal à l'homme, telle la grippe aviaire. Toutefois, elle n'a pour l'instant été appliquée avec succès que lors de tests dans les années 1990.

Enfin, les auxiliaires peuvent être les organismes nuisibles eux-mêmes, préalablement transformés par l'homme : c'est la lutte autocide. De nombreux mâles, stérilisés au moyen de rayonnements ionisants, sont lâchés dans la nature et entrent en compétition avec les mâles sauvages pour les accouplements. De multiples femelles ne pondront alors pas d'œufs fertiles, d'où une réduction significative, voire une extinction, de la population cible. Cette technique a notamment connu un franc succès aux États-Unis dans les années 1950,

pour éliminer la lucilie bouchère (*Cochliomyia hominivorax*), petite mouche dont les larves s'attaquent au bétail et rendent le cuir inutilisable. Des lâchers massifs de mâles stériles ont entraîné le déclin, voire l'extinction locale, de cette mouche. De même, elle est employée en Afrique depuis 1970 contre la mouche tsé-tsé. Elle s'est révélée efficace en Tanzanie, au Burkina Faso et au Zimbabwe, où les populations de cette mouche se sont réduites drastiquement, avant d'être étendue à la plupart des pays africains confrontés au même problème. Son application se poursuit aujourd'hui.

Les auxiliaires peuvent être introduits dans le milieu où sévit un organisme indésirable de trois façons : en un seul lâcher (lutte biologique classique ou stratégie d'intro-

duction-acclimatation), en plusieurs lâchers (on parle de lâchers inondatifs, et la lutte biologique est dite par augmentation) et sans lâchers (on promeut l'installation autonome des auxiliaires en aménageant les espaces cultivés, par exemple en plantant des haies, qui leur servent d'abris; on parle de lutte biologique par conservation et modifications environnementales).

La lutte par augmentation est la plus utilisée si les auxiliaires sont des micro-organismes ou s'ils ne s'acclimatent pas ou peu à leur nouveau milieu (d'où la nécessité de les réintroduire sans cesse). La sensibilisation du public à l'agriculture biologique a récemment popularisé la lutte par conservation et modifications environnementales, de loin la plus facile à mettre en œuvre, car les auxiliaires arrivent tout seuls. Dans les

AIDER LE PARASITOÏDE À CIBLER L'ORGANISME NUISIBLE

Les parasitoïdes naissent à l'intérieur d'un autre organisme, qu'ils tuent en se développant. Au préalable, la mère doit détecter un hôte dans lequel pondre ses œufs. Elle se fonde en général sur les composés chimiques présents sur la cuticule (la « peau ») des insectes qu'elle rencontre. Cette capacité de reconnaissance étant un facteur clef de l'efficacité des parasitoïdes pour les programmes de lutte biologique, on cherche à la développer artificiellement.

On doit pour cela identifier les substances en jeu. C'est ce qu'a fait l'auteur de cet article, avec ses collègues du CIAT (*Centro Internacional de Agricultura Tropical*), au début des années 2000. L'étude concernait la cochenille du manioc (*Phenacoccus herreni*), important ravageur du manioc en Amérique latine (a). La guêpe parasitoïde *Aenasius vexans* est utilisée pour lutter contre cet insecte. Les composés synthétisés par *P. herreni* ont été isolés et analysés par chromatographie en phase li-

quide couplée à un spectromètre de masse. Sur le chromatogramme, les différentes substances apparaissent comme des pics. L'un d'eux correspondait à une substance nommée O-caffeoylsérine (b), que l'on suspectait d'être particulièrement attractive pour le parasitoïde.

Pour le confirmer, on a synthétisé ce composé à partir d'acide caféique, de chloroformate d'éthyle et de sérine. Le composé a ensuite été déposé sur une balle de coton (imitant le corps de la cochenille) :

le parasitoïde *A. vexans* s'est immédiatement dirigé vers cette balle.

On pourrait alors exposer ce parasitoïde à l'O-caffeoylsérine en insectarium avant son lâcher, afin d'augmenter sa sensibilité à cette molécule. Une méthode similaire a été appliquée avec succès en Californie en 1997, pour le contrôle de la cochenille des citrus *Aonidiella aurantii* : l'hyménoptère *Aphytis melinus*, un parasitoïde de cette cochenille, a été exposé préalablement à l'O-caffeoyltyrosine.

a Cochenille du manioc

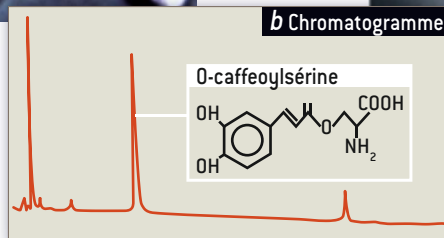


c Guêpe parasitoïde



Lâcher du parasitoïde, préalablement exposé au composé attractif identifié, sur les cochenilles.

b Chromatogramme



Identification d'un composé potentiellement attractif présent sur la cuticule de la cochenille.

Dépôt du composé sur une balle de coton pour vérifier qu'il attire le parasitoïde.

Pour augmenter l'efficacité d'une campagne de lutte biologique, une stratégie consiste à identifier les composés chimiques qui attirent le parasitoïde vers son hôte, à synthétiser artificiellement

ces composés et à y exposer les parasitoïdes avant les lâchers. Cette stratégie a notamment été appliquée à la cochenille du manioc, un insecte ravageur.

autres cas, des infrastructures sont nécessaires pour les faire se multiplier.

La définition de la lutte biologique par l'OILB, qui évoque « l'utilisation d'organismes vivants ou de leurs produits », est sujette à interprétation. Elle semble inclure les produits dérivés d'organismes vivants dans les armes de la lutte biologique. Ce sont par exemple des extraits de plante, tel le purin d'orties (obtenu en hachant et en faisant macérer des orties), ou des toxines copiées sur celles synthétisées par des organismes naturels, telle la bactérie *Bacillus thuringiensis* ; ces deux techniques sont utilisées pour lutter contre les ravageurs. Toutefois, certains scientifiques refusent le rattachement de ces produits à la lutte biologique au sens strict et préfèrent parler de biopesticides.

Des frontières floues

D'autres techniques se sont développées aux frontières de la lutte biologique. C'est le cas des luttes par confusion sexuelle et par utilisation de régulateurs de croissance, souvent employées en agriculture biologique. La première consiste à empêcher les deux sexes de se rencontrer en brouillant leurs communications par la diffusion de phéromones sexuelles. Dans la seconde, on pulvérise des analogues d'hormones, qui perturbent la croissance et le développement des insectes. Malformés, ceux-ci ne peuvent se reproduire. Dans les deux cas, il n'y a donc pas de descendance. Certains considèrent que ces techniques ne font pas partie de la lutte biologique, puisqu'elles n'utilisent pas d'organismes antagonistes, mais des produits chimiques (souvent synthétiques).

La création de certaines plantes génétiquement modifiées (des OGM) est également à la frontière de la lutte biologique. On ne parle pas ici d'organismes tels que le maïs transgénique commercialisé par la firme *Monsanto* : ce maïs a été modifié pour être résistant au *Roundup*, un herbicide, afin qu'on puisse le pulvériser sur les cultures. Or la lutte biologique consiste justement à éviter l'utilisation d'herbicides. Ainsi, depuis le début des années 1980, on a inséré dans certaines plantes des gènes codant des toxines, afin de les rendre naturellement toxiques pour les insectes ravageurs. On a notamment utilisé des gènes de *Bacillus thuringiensis*, une bactérie bien connue dans la lutte biologique, qui a longtemps été répandue directement sur les cultures.

Nous reviendrons sur ces promesses des OGM. Plutôt que de lutte biologique, on parle souvent de lutte par amélioration génétique, à l'instar de la sélection variétale (on sélectionne les variétés présentant des caractéristiques intéressantes).

La lutte biologique a plusieurs avantages par rapport à la lutte chimique : elle ne détruit pas l'environnement, ne pollue pas et permet une régulation à long terme des organismes nuisibles. Cependant, elle est parfois inefficace, lorsque les auxiliaires ne parviennent pas à s'adapter à leur nouvel environnement et disparaissent rapidement. Par ailleurs, même lorsqu'ils l'utilisent, certains agriculteurs continuent souvent à pulvériser des insecticides, nuisibles non seulement aux ravageurs, mais aussi aux auxiliaires. Le bon fonctionnement de la lutte biologique passe donc par une gestion globale des méthodes de lutte contre les organismes nuisibles.

En outre, la lutte biologique n'est pas sans risque : dans certains cas, les auxiliaires s'adaptent si bien à leur région d'introduction qu'ils y prolifèrent et deviennent aussi nuisibles que leurs cibles. Ainsi, le bulbul orphée *Pycnonotus jocosus*, un petit passereau indien aussi nommé merle de Maurice, a été introduit en 1892 sur l'île Maurice pour réguler les populations d'insectes ravageurs de la canne à sucre. Il est entré en compétition avec certaines espèces d'oiseaux endémiques et est devenu un grand pilleur d'arbres fruitiers. Des campagnes de capture sont en cours sur l'île afin de limiter sa population.

Maints autres exemples existent. En Jamaïque, un programme de lutte biologique contre des rats a mené à l'introduction successive de quatre espèces (fourmis de feu tropicales, furets, crapauds-buffles et mangoustes), chacune devant lutter contre celle qui l'avait précédée, qui avait proliféré et menaçait l'écosystème local !

Il est donc de plus en plus clair que la lutte biologique doit prendre en compte le contexte global, c'est-à-dire que le comportement et la biologie des différents protagonistes doivent être préalablement étudiés. Avant de lâcher un auxiliaire dans un nouvel environnement, il faut s'assurer qu'il va pouvoir s'adapter et qu'il ne va pas s'attaquer à des organismes non ciblés, devenant à son tour nuisible.

Ces études aboutissent aussi à des stratégies améliorant l'efficacité de la lutte biologique. Ainsi, la compréhension des mécanismes qui attirent un parasitoïde vers

Agriculture bio et lutte biologique, quel rapport ?

L'agriculture biologique favorise les méthodes naturelles dans le contrôle d'organismes nuisibles, mais elle ne se limite pas à la lutte biologique : elle comprend aussi, par exemple, des techniques de fertilisation des sols fondées sur des produits naturels, tel le compost.

Inversement, la lutte biologique ne concerne pas que l'agriculture : elle est utilisée contre les insectes vecteurs de maladies, tels les moustiques (ci-dessous, un moustique anophèle, vecteur du paludisme).



© Amir Ridwan/shutterstock.com

son hôte permet d'accroître cette attraction (voir l'encadré page 46). Autre exemple, l'autodissémination : on attire l'insecte nuisible dans un dispositif contenant un micro-organisme pathogène, par exemple en diffusant des phéromones sexuelles, et l'insecte contaminé dissémine la maladie (voir l'encadré page 45). Cette technique présente l'avantage de cibler l'insecte visé, grâce à l'utilisation de phéromones spécifiques en tant qu'attractif. Elle a été utilisée pour la première fois dans les années 1990 et a pris un nouvel essor dans les années 2000. Elle a notamment été appliquée sur une île du lac Victoria, au Kenya, par l'ICIPE : la population de mouches tsé-tsé a chuté de plus de 80 pour cent.

Par ailleurs, la lutte biologique cherche de plus en plus à tirer parti des OGM. Lorsqu'une plante est attaquée par un ravageur, elle émet des composés chimiques particuliers, qui attirent les parasitoïdes de l'insecte. Certaines variétés cultivées ont totalement perdu ou presque cette capacité, vraisemblablement à la suite des sélections opérées par l'homme. L'idée est donc de leur faire retrouver cette capacité. On tente ainsi d'accroître leur attractivité pour les parasitoïdes, grâce à l'incorporation d'un ou de plusieurs gènes.

Des OGM contre le paludisme

Les OGM pourraient aussi servir à lutter contre le paludisme. Cette maladie est causée par un parasite unicellulaire du genre *Plasmodium* et propagée par des moustiques du genre *Anopheles*. Lorsque le moustique ingère du sang infecté, il absorbe des gamètes mâles et femelles du parasite, qui se fécondent dans son intestin. Après maturation, le parasite traverse la paroi intestinale, passe dans l'hémolymph (l'équivalent du sang chez les arthropodes), puis se loge dans les glandes salivaires du moustique, d'où il sera transmis à un autre organisme lors d'une prise alimentaire ultérieure.

Des chercheurs américains de diverses universités tentent de neutraliser le parasite dans l'intestin du moustique. Certains voudraient créer des moustiques à la paroi intestinale renforcée, afin que le parasite ne puisse plus la traverser, tandis que d'autres modifient génétiquement les bactéries symbiotiques vivant dans l'intestin pour qu'elles attaquent le

L'AUTEUR



Paul-André CALATAYUD est chercheur à l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et affecté au Centre international de physiologie et d'écologie des insectes (ICIPE), au Kenya.

BIBLIOGRAPHIE

S. Wang *et al.*, Fighting malaria with engineered symbiotic bacteria from vector mosquitoes, *PNAS*, vol. 109, pp. 12734-12739, 2012.

N. Maniania *et al.*, Dissemination of entomopathogenic fungi using *Busseola fusca* male as vector, *Biological Control*, vol. 58, pp. 374-378, 2011.

L. Suty, La lutte biologique : vers de nouveaux équilibres écologiques, Quæ et Educagri Editions, 2010.

Collectif, Pesticides, agriculture et environnement, Quæ, 2011.

P.-A. Calatayud *et al.*, Identification and synthesis of a kairomone mediating host location by two parasitoid species of the cassava mealybug *Phenacoccus herreni*, *Journal of Chemical Ecology*, vol. 27, pp. 2203-2217, 2001.

SUR LE WEB

Site de l'INRA sur la lutte biologique : www.inra.fr/opie-insectes/luttebio.htm

parasite. Les moustiques ne contamineraient ainsi plus leurs proies. À terme, on souhaite remplacer dans la nature les moustiques sauvages par les moustiques modifiés. Mais pour cela, ces derniers doivent se reproduire plus vite que les autres, ce qui n'est pas encore le cas...

L'utilisation de tels OGM devra se faire dans un cadre légal strict. De façon générale, la lutte biologique doit respecter plusieurs obligations juridiques. D'une part, la détention, la circulation, l'importation et l'exportation d'insectes et de plantes sont soumises à un certain nombre de conditions afin de ne pas nuire à la biodiversité locale, conformément à la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES). D'autre part, toutes les étapes (prélèvement, importation et introduction) doivent faire l'objet de demandes officielles préalables auprès des pays concernés.

Vers une lutte intégrée

Outre les recherches visant à accroître l'efficacité de la lutte biologique, on combine de plus en plus cette stratégie avec d'autres, telles que la lutte physique. Cette dernière est fondée sur une multitude de méthodes : désherbage manuel, brûlage des mauvaises herbes... D'autres stratégies consistent à adapter le système de culture, afin de limiter les attaques de ravageurs, notamment par des rotations de culture et des dates de semis et de récolte appropriées (par exemple, on récolte avant que les ravageurs ne soient très présents). Certains préconisent d'adjoindre la lutte chimique à cet arsenal, même si je n'adhère pas à cette position. En conséquence, on parle de plus en plus de lutte intégrée.

Les pesticides disparaîtront-ils totalement à moyen terme ? C'est peu probable. Ils restent l'arme la plus utilisée pour la protection des cultures, car ils sont souvent moins coûteux et moins gourmands en temps de travail que la lutte biologique. En outre, celle-ci n'est pas toujours assez efficace pour combattre les ravageurs. Cependant, on cherche de plus en plus à limiter l'utilisation des pesticides, d'une part, en surveillant mieux les ravageurs (de façon à ne traiter les cultures qu'en cas de nécessité), et, d'autre part, en développant des stratégies alternatives. Ainsi, la lutte biologique prend de plus en plus d'importance. ■

Rendez-vous sur

■ POUR LA
SCIENCE.fr

Le site de référence de l'actualité scientifique internationale

- Retrouvez gratuitement les actualités scientifiques quotidiennes.
- Écoutez nos entretiens audio ou téléchargez-les.
- Recevez nos lettres d'information et réagissez aux articles en vous inscrivant sur www.pourlascience.fr/newsletters
- Consultez les archives de tous nos magazines depuis 2004.
- Accédez aux numéros numériques compris dans votre abonnement en créant votre compte.
- Suivez notre actualité en direct :



<http://www.pourlascience.fr/rss>



<http://twitter.com/pourlascience>



<http://www.pourlascience.fr/pls-facebook>

+ de 10 000 fans



À très bientôt sur www.pourlascience.fr !

Le langage des

Terry Sejnowski
et Tobi Delbruck

La communication cérébrale repose sur une chronologie précise des signaux électriques transmis d'un neurone à l'autre.

Notre cerveau est plus performant que *Google* ou que le meilleur des robots du film *iRobot*. Du moins pour certaines tâches... Il est capable d'effectuer instantanément des recherches parmi une multitude d'expériences et d'émotions. En une fraction de seconde, nous reconnaissons le visage d'un parent, d'un ami ou d'une ancienne connaissance, même dans une semi-obscureté, et quel que soit l'angle d'observation – une tâche que les systèmes robotiques les plus perfectionnés peinent à accomplir. Nous sommes aussi multitâches : nous pouvons sortir un mouchoir de notre poche et nous essuyer le front tout en discutant. Or un « cerveau électronique » qui permettrait à un robot de réaliser cette simple combinaison de comportements reste une perspective éloignée.

Comment le cerveau réalise-t-il ces performances, sachant que la complexité de ses réseaux, où des milliards de neurones forment des milliers de milliards de connexions, rivalise avec celle d'Internet ? En partie grâce à son efficacité énergétique : lorsqu'une cellule nerveuse communique avec une autre, le cerveau consomme un million de fois moins d'énergie qu'un ordinateur effectuant l'opération équivalente. Cet

L'ESSENTIEL

■ La chronologie des signaux électriques (les potentiels d'action) échangés entre neurones au travers de multiples points de contact (les synapses) est un élément essentiel de la communication cérébrale.

■ Ainsi, la fréquence moyenne d'émission des potentiels d'action et les instants où ils sont émis sont porteurs d'information.

■ En outre, des signaux d'entrée identiques peuvent déclencher ou non la décharge d'un neurone cible, selon leurs instants d'arrivée relatifs.