

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 **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.