

**AFPP – ÉCOLOGIE CHIMIQUE :  
NOUVELLES CONTRIBUTIONS À LA PROTECTION DES CULTURES CONTRE LES RAVAGEURS  
MONTPELLIER – 24 OCTOBRE 2017**

**ALLOMONES D'ORIGINE VEGETALE ET BIOCONTROLE**

C. REGNAULT-ROGER

[Catherine.regnault-roger@univ-pau.fr](mailto:Catherine.regnault-roger@univ-pau.fr)

<sup>(1)</sup> UNIVERSITE DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR, 64013 PAU CEDEX

<sup>(2)</sup> ACADEMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE, 18 rue de bellechasse, 75017 Paris

<sup>(3)</sup> ACADEMIE NATIONALE DE PHARMACIE, 4 avenue de l'Observatoire, 75006 Paris

## **RÉSUMÉ**

Le rôle des allomones végétales comme celui des autres composés sémiocchimiques est resté longtemps incompris. Pourtant ce sont des facteurs de défense des plantes utilisés depuis des siècles empiriquement avant qu'on n'en découvre les mécanismes d'action et les propriétés. Aujourd'hui, elles représentent une catégorie de substances naturelles qui s'inscrit dans le biocontrôle comme facteurs de protection des plantes. Cet exposé les définira et examinera le rôle qu'elles jouent dans les écosystèmes à travers quelques exemples, puis les applications auxquelles elles ont donné lieu par le passé et aujourd'hui en matière de protection des plantes contre les ravageurs. On en soulignera les avantages et les limites de leur utilisation en protection intégrée et en biocontrôle.

Mots-clés : allomones végétales - facteurs de protection des plantes - co-évolution des espèces - biocontrôle.

## **ABSTRACT**

### **Plant allelochemicals and biocontrol**

The role of plant allomones, like all semiochemicals, has not been understood for a long time. However, they have been used empirically against pests for centuries before their mechanisms of action and properties were discovered. Today, they represent a category of natural substances used as plant protection factors that is part of biocontrol management in several approaches. This paper will define them and examine the role that plant allelochemicals play in ecosystems through some examples. The applications for plant protection against pests in the past and today will be highlighted, also the benefits and limitations to their uses in iPM and bicontrol

Keywords: plant allelochemicals, plant protection factors, species co-evolution, biocontrol, IPM.

## **INTRODUCTION**

C'est avec l'essor d'une discipline nouvelle, l'Ecologie chimique, impulsée en 1970 par deux chercheurs américains Sondheimer et Simeone que l'on a compris que la communication au sein d'une même espèce et entre les espèces impliquait des médiateurs chimiques. A leur suite, Whittaker et Feeny définirent en 1971 le concept de composés sémiocchimiques. Le rôle de ces composés sémiocchimiques, et tout particulièrement les allomones végétales, est resté pendant longtemps incompris alors qu'elles furent utilisées très tôt, à partir d'observations empiriques, pour leurs propriétés afin de lutter contre les organismes nuisibles des cultures. Ainsi des décoctions de tabac, riche en nicotine sont utilisées comme insecticide dès les années 1690. Abondantes chez les plantes qui ne peuvent pas fuir leurs agresseurs, ces allomones furent qualifiées de composés

déchets ou de composés secondaires des plantes car ils étaient issus de voies métaboliques que l'on ne retrouve pas dans tous les organismes mais dans certains seulement. Cependant on n'en a compris les mécanismes d'action qu'au 20<sup>ème</sup> siècle, avec les progrès de la connaissance scientifique en matière d'analyses chimiques, de physiologie et de biochimie des êtres vivants (Regnault-Roger, 2016).

Les progrès scientifiques et technologiques permettent aujourd'hui de définir plusieurs stratégies pour lutter contre les bioagresseurs des plantes. La nature même de ces allomones, biosynthétisées par les plantes, les inscrit dans une démarche de biocontrôle en substitution ou en complémentarité d'autres approches de protection des plantes. Nous examinerons les avantages et les limites de leur utilisation.

## LES ALLOMONES VEGETALES, FACTEURS DE PROTECTION DES PLANTES

### ▪ LES ALLOMONES VEGETALES SONT DES MEDIEURS CHIMIQUES

Elles font partie plus précisément des composés sémiachimiques qui sont des composés chimiques, synthétisés par des organismes pour affecter, sans impliquer de phénomènes nutritionnels, la physiologie ou le comportement d'autres organismes au sein d'une espèce ou entre espèces différentes (figure 1) :

- au sein d'une même espèce, on parle de relations intraspécifiques : ce sont les phéromones qui ont été largement étudiées chez les insectes sociaux (termites, fourmis, abeilles). Elles agissent en provoquant des modifications physiologiques réversibles ou irréversibles qui définissent le rôle de l'insecte dans sa communauté. Ainsi, le termite soldat chargé de défendre ses congénères porte un rostre qui émet un jet toxique; les abeilles ouvrières ou nourricières ou la reine d'une ruche possèdent des développements d'organes différents.

- Entre espèces différentes, ce sont des relations interspécifiques qui mettent en jeu les molécules allélochimiques. Celles-ci ont été classées en deux grandes catégories, les allomones qui bénéficient à l'organisme émetteur, et les kairomones qui bénéficient à l'organisme receveur : par exemple dans le premier cas un répulsif qui éloigne l'insecte ravageur, ou dans le second la couleur d'une fleur qui attire les insectes pollinisateurs. Ces molécules allélochimiques interviennent aussi dans la communication des plantes entre elles: on parle alors d'allélopathie.

Figure 1 : définition des composés sémiachimiques/ Semiochemicals definition



#### ▪ UN ROLE DANS LA DEFENSE DES PLANTES

L'étude des allomones végétales permet aujourd'hui de mieux comprendre le comportement et la co-évolution des organismes. Comme tous les organismes vivants, les plantes n'ont pu survivre, au cours de l'évolution, qu'en acquérant des capacités qui leur permettent de se défendre et de se reproduire. Ancrées sur un territoire, elles ont mis en œuvre, plus que les animaux, un métabolisme secondaire très étoffé et diversifié, synthétisant un grand nombre de composés de défense.

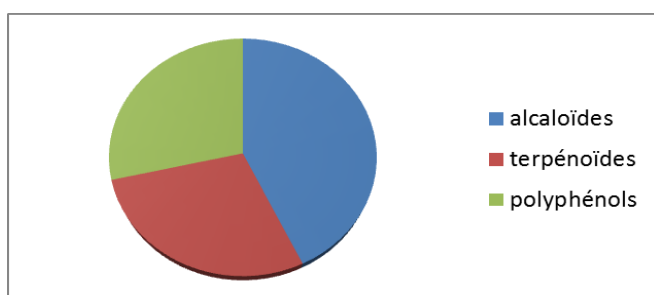
Les allomones développent ainsi plusieurs stratégies envers les ravageurs pour affecter leur potentiel biotique. Elles interviennent également de manière très active contre les invasions de micro-organismes et sont impliquées dans différents mécanismes cellulaires. Des allomones possèdent des caractéristiques structurales permettant aux plantes d'opposer une barrière physico-chimique mécanique ou chimique freinant l'installation ou la progression d'un parasite. Certaines allomones sont induites en réponse à un stress biotique (agent pathogène) ou abiotique (irradiation). Les phytoalexines sont produites extemporanément par une cascade de réponses génétiques et métaboliques mise en œuvre lors de la perception du signal de l'agression. Leur caractère inductible les distingue des molécules de défense constitutives. La structure chimique des phytoalexines est très diversifiée et varie d'une famille végétale à l'autre, mais beaucoup de familles botaniques produisent des phytoalexines de la même classe chimique, ce qui leur donne une caractéristique taxonomique. Actuellement, l'identification du rôle de ces molécules dans les mécanismes de résistance des végétaux, notamment la stimulation des défenses naturelles des plantes (Pajot et Regnault-Roger, 2008), suscitent de nombreuses recherches pour une production maîtrisée des moyens de défense des plantes.

Les allomones agissent en fait sur une large diversité d'espèces : insectes, qui ont fait l'objet de très nombreuses recherches, mais aussi nématodes, micro-organismes phytopathogènes (champignons et bactéries), ou encore les plantes d'autres espèces. Dans ce dernier cas, c'est l'allélopathie définie par Rice en 1984. Les effets allélopathiques résultent de la libération par la plante de molécules présentes dans tous ses tissus et ses racines par le biais de composés volatils ou d'exsudats racinaires, ou de produits de la décomposition de résidus végétaux dans le sol, et qui exercent sur les plantes du voisinage un effet inhibiteur : le végétal défend son territoire contre d'autres espèces concurrentes en terme d'accès aux éléments nutritifs du sol et de l'eau. Chapuiso et al (2008) soulignent que des observations empiriques datent de l'Antiquité puisque Pline l'Ancien signale dans son oeuvre *Naturalis historia* que le couvert des noyers (*Juglans nigra*) se caractérise par une absence quasi systématique de végétation, indiquant qu'elle pouvait résulter d'une influence inhibitrice sur les plantes environnantes.

#### ▪ NATURE CHIMIQUE DES ALLOMONES VEGETALES

Les allomones végétales sont, dans leur grande majorité, synthétisées par le métabolisme secondaire des plantes à travers les voies du shikimate, du mévalonate, de l'acétate et des amino-acides. La complexité de ce métabolisme est à l'origine d'un grand nombre de molécules estimé à plus 500 000, dont seulement 5% auraient été caractérisées, qui a permis de leur attribuer une valeur taxonomique et phylogénétique.

**Figure 2 : Importance respective des principales familles chimiques des allomones identifiées/Main chemical families of identified allelochemicals (Regnault-Roger (2005))**



Elles appartiennent, de fait, à un nombre limité de familles chimiques : les alcaloïdes et composés azotés, majoritaires, de la famille des phénylpropanoïdes et des substances phénoliques, et de celle des terpénoïdes et stéroïdes (figure 2)

## ALLOMONES VÉGÉTALES, FACTEURS DE CO-ÉVOLUTION DES ESPÈCES

Ces molécules interviennent dans les relations interspécifiques dans lesquelles elles jouent un rôle majeur pour la co-évolution des espèces. Elles y interviennent de deux façons : soit de manière directe par les propriétés qu'elles développent sur des espèces cibles dont la réponse dépend de leur sensibilité à l'allomone, soit de manière indirecte au sein de relations trophiques complexes.

Ces quelques exemples en sont l'illustration :

- pour les relations trophiques simples :

- ✓ Les plantes du genre *Salvia* spp des écosystèmes désertiques produisent des composés volatils (camphre, 1-8 cinéole, les  $\alpha$ -pinène et  $\beta$ -pinène) qui inhibent la croissance des herbes de leur voisinage (Chiapuso et al, 2008).
- ✓ Les exsudats racinaires de la pervenche de Madagascar *Cantharanthus roseus* contiennent de la serpentine et sont larvicides pour le nématode *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood (Djian-Caporalino et al., 2008).

- pour les relations trophiques complexes :

- ✓ Le lépidoptère *Tyria jacobaea* L. possède la capacité de sélectionner les alcaloïdes de la plante dont il se nourrit. En effet, il consomme les six alcaloïdes synthétisés par la composée *Senecio jacobaea* mais retient préférentiellement la sénécionine, tandis que la jacobine est l'alcaloïde majoritaire de cette plante (Streblor, 1989).
- ✓ Dans les processus de co-évolution, des allomones végétales sont parfois utilisées par les insectes phytophages pour leur défense. Ainsi la larve de la tenthrède européenne du pin *Neodiprion sertifer* (Geoffroy) séquestre de sa plante hôte des monoterpènes, les  $\alpha$ - et le  $\beta$ -pinènes, qu'elle émet dans un jet répulsif, lorsqu'elle est attaquée.
- ✓ Les femelles coccinellidées utilisent à leur profit un alcaloïde de type coccinelline identifié chez les euphorbiacées pour repousser les fourmis et les cailles.

Il existe également des situations où l'allomone est convertie en kairomone. L'hypericine secrétée par le millepertuis *Hypericum perforatum* est une naphthoquinone qui inhibe la prise alimentaire de la plupart des insectes phytophages à l'exception de quelques espèces de chrysomèles qui ont développé un système de détoxification à son encontre. Mieux, certaines de ces chrysomèles affichent une préférence alimentaire pour l'hypericine : *Chrysolina brunsvicensis* (Gravenhorst) utilise l'hypericine comme stimulant alimentaire et délaisse les plantes qui sont dépourvues de cette naphthoquinone. Cette observation a été utilisée dans la lutte biologique au Canada contre le millepertuis qui est considéré comme une mauvaise herbe des pâturages car il provoque chez les animaux d'élevage qui les broutent des troubles physiologiques. Plusieurs espèces de chrysomèles y ont été importées pour lutter contre le millepertuis. C'est actuellement l'espèce *Chrysolina quadrigemina* (Suffrian), originaire de la région méditerranéenne, qui est la plus performante contre l'adventice (Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales de l'Ontario, 2016).

Cet exemple démontre bien l'ambivalence entre les allomones et les kairomones. Il souligne également tout l'intérêt qui se dégage de l'acquisition des connaissances pour développer des stratégies originales pour le contrôle des nuisibles.

## LES ALLOMONES VEGETALES EN PHYTOPROTECTION AGRICOLE

### ▪ UNE LONGUE HISTOIRE

Dès la haute Antiquité et sur tous les continents, comme les tablettes sumériennes du 3<sup>ème</sup> millénaire avant J-C. ou le Veda, livre sacré indien du 4<sup>ème</sup> millénaire avant J-C. le prouvent (Regnault-Roger et Philogène, 2008), les extraits végétaux riches en allomones ont été utilisés pour leurs propriétés thérapeutiques et biotiques, et également phytopharmaceutiques. Il faut cependant attendre le 19<sup>ème</sup> siècle pour que la conjugaison des pratiques empiriques et des observations scientifiques, ainsi que les progrès de la chimie analytique, conduisent au développement d'une première génération d'extraits végétaux pour le contrôle de ravageurs des cultures. A cette époque, trois composés étaient largement utilisés comme produits insecticides : outre la nicotine du tabac (*Nicotiana tabacum*), le pyrèthre (extrait de plantes du genre *Chrysanthemum* spp.) et la roténone (extraite d'une Papilionacée d'Amérique, *Lonchocarpus nicou*, ou du Japon *Derris elliptica*). D'autres composés extraits de plantes tropicales du genre *Cassia* spp (quassine) ou du genre *Ryana* spp (ryanodine) ont également été utilisés mais avec moins de succès.

Toutefois, à cette époque, les approvisionnements nécessitaient de longs transports (par exemple l'importation de pyrèthre utilisé aux Etats-Unis provenait du Japon), s'accompagnaient des livraisons irrégulières et de cargaisons en mauvais état. Les conditions de stockage étaient hétérogènes sans parler des procédés d'extraction des substances actives, rudimentaires et aléatoires (Regnault-Roger, 2014). De plus, les allomones les plus utilisées à cette époque ont révélé, plus ou moins rapidement, des effets délétères pour l'être humain neurotoxiques (nicotine) ou neuro-dégénératifs (roténone), ou encore une instabilité à la lumière (pyrèthre). C'est pourquoi à l'issue de la Seconde Guerre Mondiale, au cours de laquelle un insecticide de synthèse, le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), avait été employé avec profit contre les poux vecteurs de maladies, les pesticides organiques de synthèse supplantèrent aisément les molécules extraites des végétaux. Ils étaient plus efficaces, d'un emploi plus facile, plus sûr et relativement bon marché. Cependant une utilisation mal maîtrisée de ces pesticides de synthèse et des effets non intentionnels non prévisibles au départ ont suscité un regain d'intérêt dans les années 1970 pour des stratégies phytosanitaires alternatives parmi lesquelles l'utilisation des allomones et extraits végétaux.

### ▪ AUJOURD'HUI

Depuis les années 80-90, la recherche de nouveaux extraits végétaux et de molécules phytopharmaceutiques d'origine botanique s'est par conséquent intensifiée en s'orientant dans deux directions :

- la première est de trouver de nouvelles ressources végétales à partir de la valorisation des savoir-faire traditionnels et empiriques, ou encore de faire de la prospection systématique des essences rares des forêts tropicales primaires ou peu exploitées. Le genre *Swietenia* spp (acajou) fait actuellement l'objet d'intenses recherches, les écorces de ces arbres, leurs feuilles et leurs fruits recélant des composés ayant des effets anti-appétents ou régulateurs de croissance contre plusieurs ravageurs (Arnason et al., 2008 ; Krisnawati et al., 2011)
- la seconde est d'explorer et de diversifier les usages des plantes et extraits déjà identifiés pour une activité antiparasitaire. Par exemple, de nombreuses huiles essentielles sont connues pour leurs propriétés insecticides (Regnault-Roger, 1997). Elles possèdent également des propriétés nématocides (Djian-Caporalino et al, 2008).

Aux allomones historiques citées ci-dessus, s'ajoutent d'autres extraits végétaux plus complexes et d'une utilisation plus récente. Parmi les plus en vue actuellement :

- le *neem* extrait du margousier (*Azadirachta indica*), une plante millénaire utilisée en Inde et redécouverte avec les travaux de Schmutterer en 1959. Les extraits de neem sont en fait un mélange de plus d'une centaine de composés limonoïdes parmi lesquels les azadirachtines, salanines et nimbinés et leurs analogues. Les salanines et nimbinés sont des anti-appétents tandis que les azadirachtines développent une

activité d'inhibiteurs de croissance qui perturbent les mues de l'insecte. Les azadirachtines furent longtemps considérées comme des bioinsecticides végétaux idéaux en raison de leur non-toxicité pour les mammifères et les espèces non-cibles et de leur peu de persistance dans l'environnement (Regnault-Roger et Philogène, 2008). Mais aujourd'hui les propriétés bien connues du neem comme contraceptif (il est utilisé en Inde pour diminuer la fertilité masculine) interpellent sur son utilisation comme bioinsecticide en raison du débat sur l'utilisation non maîtrisée de perturbateurs endocriniens dans des nombreux secteurs (médecine, industrie, agro-alimentaire etc.).

#### - les huiles essentielles

On retrouve les *huiles essentielles* dans 17500 espèces aromatiques appartenant à un nombre limité de familles (myrtacées, lauracées, lamiacées, astéracées). Les huiles essentielles se distinguent des autres huiles végétales par leur volatilité (elles sont constituées majoritairement de terpénoïdes légers qu'accompagnent des polyphénols de faible poids moléculaire). La composition chimique des huiles essentielles est éminemment variable en raison de facteurs liés au végétal et son environnement (génétiques, physiologiques, pédologiques et climatiques) mais aussi analytiques (selon le choix et les performances des techniques d'extraction adoptées au laboratoire). Malgré cette hétérogénéité de leur composition chimique, les huiles essentielles ont des propriétés marquées qui les ont fait utiliser de longue date en pharmacie (aromathérapie), en parfumerie (cosmétique), dans l'industrie agro-alimentaire (aromatisant), dans l'industrie chimique (produits d'hémisynthèse) et plus récemment comme biopesticides d'origine végétale. La diversité de la composition chimique des huiles essentielles leur confère un large éventail de propriétés neurotoxiques, répulsives, anti-appétentes sur les insectes (Regnault-Roger, 2008). Elles connaissent un grand succès commercial aux Etats-Unis, et l'autorisation récente de plusieurs d'entre elles au niveau communautaire ouvre la porte à un développement dans l'Union européenne.

La compréhension des phénomènes de médiation chimique dans les relations interspécifiques démontre toute l'importance que prennent les allomones végétales dans les équilibres des écosystèmes. Ces observations qui résultent de nombreux travaux réalisés au cours de la deuxième moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, donnent des repères essentiels pour l'orientation et les perspectives de leur emploi en phytoprotection agricole et pour déterminer quelles sont les limites de cette stratégie phytosanitaire dans la protection des cultures.

## **FREINS A L'UTILISATION DES ALLOMONES VEGETALES EN PHYTOPROTECTION AGRICOLE**

L'utilisation de ces substances végétales est inscrite aujourd'hui dans le cadre de la Loi d'Avenir pour l'agriculture de 2014 (JORF, 2014) qui définit ainsi les produits de biocontrôle : « *des agents et produits utilisant des mécanismes naturels dans le cadre de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures* ». Ils sont classés en quatre grandes catégories : « *les macroorganismes, les produits phytopharmaceutiques comprenant des microorganismes, des médiateurs chimiques comme les phéromones et les kairomones, et des substances naturelles d'origine végétale, animale ou minérale* ». Toutefois, plusieurs facteurs limitent cependant cette approche phytosanitaire.

### ▪ **LE DEGRE DE PURETE DES ALLOMONES EXTRAITES, L'ACTIVITE OBSERVEE ET L'EXIGENCE D'INNOCUITE**

Les extraits végétaux sont en effet des matrices complexes, hétérogènes qui contiennent quelques composés majoritaires (souvent de trois à cinq), et plusieurs autres (quelquefois plusieurs dizaines), pour certains à l'état de traces dont on ne connaît d'ailleurs pas s'ils jouent un rôle dans l'efficacité recherchée.

Cette hétérogénéité dépend de plusieurs facteurs : l'état intrinsèque de la plante au moment de sa récolte (sa maturité physiologique, les organes prélevés), mais aussi l'incidence des méthodes d'extraction chimiques (choix de solvants, de température, etc.) qui jouent un grand rôle dans la composition chimique de l'extrait obtenu.

Le degré de purification des allomones est un facteur à prendre en considération tant sur le plan économique (coût des extractions chimiques) que de la nature des impuretés qui peuvent moduler l'activité du composé recherché. Un extrait d'une plante n'est donc pas forcément identique à un autre extrait de la même plante, alors que l'appellation sera la même. Il peut donc en résulter une variabilité marquée dans l'efficacité du produit obtenu.

A cela s'ajoute la variabilité de la sensibilité des espèces à une même allomone. Il existe également très souvent une absence de données sur les nombreux composés identifiés au sein d'un extrait botanique. Or ce n'est pas toujours le composé majoritaire de l'extrait qui est le plus actif sur le bio-agresseur ciblé. A cela s'ajoute une forte variabilité dans la sensibilité des espèces à une même allomone. En conséquence, pour un même extrait végétal, les composés les plus actifs sur un bio-agresseur ne sont pas forcément les plus actifs sur un autre.

Doit être prise en considération aussi l'exigence d'innocuité pour les espèces non cibles. Ce n'est pas parce qu'ils sont naturels que les extraits végétaux sont sans risque. S'ils ont des avantages écologiques indéniables en raison de leur biodégradabilité (avec en général des demi-vies courtes des substances actives), la diversification des cibles physiologiques et biochimiques chez les bio-agresseurs visés (limitant de ce fait ou retardant l'apparition de phénomènes de résistance), et s'accompagnant d'une grande spécificité envers les espèces, certains peuvent cependant révéler des effets non intentionnels marqués.

Les huiles essentielles évoquées précédemment en sont la parfaite illustration. Si la plupart d'entre elles ont des DL<sub>50</sub> qui les classent comme des substances de très faible toxicité (ex : citronnelle, lavande, eucalyptus etc.), d'autres (basilic, estragon, origan) sont répertoriées comme nocives, et un petit nombre (ex : boldo, cèdre, pennyroyal –mélange de *Mentha pulegium* et *Hedeoma pulegioides*) comme toxiques. Des symptômes sévères (hypersalivation, ataxie, hypothermie marquée) ont été constatés chez des chiens et des chats traités avec des médicaments vétérinaires à base d'huiles essentielles de gaulthérie couchée (*Gaultheria procumbens* ou wintergreen) ou de sassafra (*Sassafras officinalis* ou laurier des Iroquois). Les huiles essentielles de bergamote (*Citrus bergamia*) et d'angélique (*Angelica archangelica*) sont photosensibilisantes. D'autres comme l'huile essentielle de *Malaleuca alternifolia* (arbre à thé ou *tea tree*) ont provoqué des allergies cutanées. L'huile essentielle d'hysope (*Hyssopus officinalis* L.) provoque des crises d'épilepsie. A ces effets sur les mammifères, s'ajoutent des effets allélopathiques. Ceux-ci peuvent se révéler bénéfiques ou néfastes. L'huile de l'origan (*Origanum vulgare*) et du basilic (*Ocimum basilicum*) agissent sur le panic pied de coq *Echinochloa crus-galli* et le chénopode blanc *Chenopodium album*, deux adventices préoccupantes (donc un effet positif) tandis que l'huile essentielle de tagète (*Tagetes minuta*) et du faux poivrier (*Schinus areira*) inhibent l'activité racinaire du maïs (effet négatif) (Regnault-Roger et al, 2012).

#### ▪ LA QUALITE DE LA FORMULATION MISE SUR LE MARCHE ET LA DISPONIBILITE DE LA RESSOURCE.

L'hétérogénéité et la variabilité de la composition des extraits végétaux ont une incidence sur la qualité de la formulation phytosanitaire commercialisée qui se doit d'être standardisée et de qualité uniforme. Utilisées en formulations plus ou moins complexes, les allomones végétales sont intégrées à des co-formulants ou à des synergistes. La conservation de cette formulation et son mode d'utilisation (poudre, solution) jouent également un rôle. Il est important que la teneur en substance active soit stable, soit en procédant à des dilutions (si excès), soit par ajout de matière active (si déficit) provenant d'extraits plus concentrés ou de la molécule naturelle synthétisée à l'identique. La synthèse chimique de molécules actives à l'identique de celles que l'on trouve dans la nature, pourrait constituer une réponse à un approvisionnement inconstant ou à une biodisponibilité aléatoire. Il existe ainsi des spécialités à base d'huile essentielle d'eucalyptus citronnier (*Eucalyptus citriodora* Hook) dont la formulation est suppléée en p-menthane-3,8 diol de synthèse car la production d'huile essentielle n'est pas suffisante pour couvrir les besoins du marché.

De manière générale, la qualité du produit sera jugée sur son efficacité et la régularité de son effet. La teneur en substance active en est une clef importante.

Ces dispositifs augmentent les coûts de fabrication de ces formulations. Le prix de la matière première et les conditions d'approvisionnement interviennent afin que ces biopesticides puissent entrer en compétition avec les pesticides organiques de synthèse dont les coûts de fabrication sont en général plus bas. La valorisation de sous-produits d'autres industries (parfumerie et cosmétique, agroalimentaire) peut se révéler une démarche appropriée pour répondre à cette exigence.

Se pose également la disponibilité de la ressource. Le respect de la biodiversité dans l'environnement nécessite de prendre en compte l'abondance de la matière première et son accessibilité. Une production industrielle de biopesticides végétaux doit répondre à la demande par un approvisionnement constant, abondant et facilement renouvelable en biomasse végétale. Utiliser pour ces préparations industrielles des espèces à développement lent comme les arbres (sauf une gestion de régénération forestière bien conduite sur un pas de temps long), les espèces rares ou menacées, voire des espèces sauvages endémiques sur une aire restreinte, soulève une exigence éthique afin de ménager la biodiversité existante.

▪ **NECESSITE D'UNE REGLEMENTATION ADAPTEE MAIS COHERENTE ET DU RESPECT DES BONNES PRATIQUES AGRICOLES**

On a souvent évoqué les freins réglementaires pour expliquer le lent développement des produits de biocontrôle à base d'extraits végétaux sur le marché. Ce n'est plus exact aujourd'hui, les réglementations de différents pays ayant assoupli les règles d'homologation pour cette catégorie de produits (Regnault-Roger, 2014) :

- Il existe aux Etats-Unis d'Amérique une procédure d'exemption pour les matières actives végétales qui sont classées comme produits GRAS (Generally Regarded As Safe). Ces substances sont de ce fait inscrites sur une liste d'exemption (la liste « *25b Minimum Risk Pesticides* »), les dispensant de la procédure d'homologation. Cette exemption est d'ailleurs utilisée comme un argument publicitaire pour promouvoir ces produits, par exemple les produits de la gamme Eco Exempt® de la société EcoSmart Technologies Inc. Commercialisés dès les années 2000, ces produits renferment des huiles essentielles de romarin, de menthe, de gaulthérie couchée (wintergreen) et une huile minérale additionnée de vanilline.

- Les principes actifs végétaux bénéficient également d'un assouplissement dans l'actuelle réglementation européenne. Le Règlement 1107/2009 a introduit la notion de substances actives ou produits phytopharmaceutiques à faible risque (dans ses articles 22 et 47). Plusieurs composés ou extraits végétaux ont été inscrits sur la liste positive, l'annexe du règlement n° 540/2011 qui fixe la liste des substances actives phytopharmaceutiques approuvées dans l'Union européenne. Par exemple, l'huile essentielle d'orange douce est autorisée comme insecticide sur les cultures légumières et fruitières, les plantes ornementales, les plantes à parfum, aromatiques et médicinales (PPAM), le tabac ou la vigne. Les insectes visés sont des aleurodes, la cicadelle, les thrips du tabac. L'huile essentielle de menthe verte est utilisée pour inhiber la germination des pommes de terre, et l'huile essentielle de girofle les maladies de conservation des pommes et des poires.

Toutefois une inscription sur cette liste positive européenne ne signifie pas que cette substance active sera automatiquement autorisée dans un Etat-membre, les autorisations de mise sur le marché des spécialités renfermant cette substance étant délivrées à ce niveau. En France, depuis le mois de juillet 2015, l'examen de ces dossiers d'homologation est confié à l'ANSES qui joue ainsi un double rôle dans l'évaluation du produit et la prise de décision d'autorisation. La dernière liste des produits de biocontrôle autorisés en France mentionne plusieurs substances naturelles d'origine végétale (DGAL,2016)

Si les réglementations ont été adaptées aux spécificités des produits de biocontrôle, il faudrait néanmoins que soit respectée la cohérence des principes qui guident la réglementation

générale appliquée à tous les produits phytopharmaceutiques. Ainsi, il est surprenant de constater qu'on a délivré récemment des dérogations pour l'utilisation de certains produits de biocontrôle contenant des allomones végétales qui sont connues pour être perturbateur endocrinien (azadirachtine). De même qu'on laisse perdurer des autorisations de commercialisation de produits écotoxiques à base de cuivre, au motif que ce métal se trouve dans la nature et que les spécialités phytopharmaceutiques le contenant sont donc « naturelles ». La Bouillie Bordelaise, préparation chimique, a cependant été mise au point dans les années 1880 pendant de longs mois par Millardet et Gayon dans leurs laboratoires bordelais! N'oublions pas que le recours aux produits de biocontrôle est préconisé pour un meilleur respect des biocénoses et de l'environnement. Les dérogations pour des produits de biocontrôle, accordées sous la pression de lobbies à des substances actives qui ne respecteraient pas toutes les exigences de la réglementation phytopharmaceutique dans ses aspects de sécurité sanitaire et environnementale ne sont pas de mise, pour la crédibilité même de la démarche.

Un dernier élément à souligner est le respect des bonnes pratiques agricoles. En effet, malgré leur biodégradabilité, les composés et allomones végétales en formulation ne doivent pas être utilisés de manière routinière et répétée. Il convient de respecter les bonnes pratiques agricoles afin de varier et combiner les stratégies de contrôle d'un bio-agresseur défini. Faute de quoi, les mêmes phénomènes pervers que provoque une utilisation systématique, soutenue et répétée d'un pesticide qu'il soit de synthèse ou naturel se produiront, tout particulièrement l'apparition de phénomènes de résistance chez les organismes cibles.

## CONCLUSION

Les propriétés intrinsèques des allomones végétales en font des composés de choix pour la protection des cultures dans le cadre d'une agriculture durable et de la diversification des approches phytosanitaires. Elles ont en effet toute leur place dans une stratégie intégrée agro-écologique combinant différentes technologies. Les formulations phytosanitaires à base d'allomones végétales sont utilisables aussi bien dans le cadre de l'agriculture biologique que de l'agriculture conventionnelle ou raisonnée.

On constate cependant qu'il existe un long chemin entre l'observation d'une propriété d'intérêt d'une allomone et son application dans le domaine phytopharmaceutique. La nature même de ces molécules les inscrit dans une démarche de biocontrôle qui est actuellement fortement soutenue par les pouvoirs publics. Toutefois, le processus d'homologation de ces substances requièrent de nombreuses étapes, tout comme les autres produits phytopharmaceutiques, avec la difficulté que les allomones végétales manifestent une variabilité marquée dans leur efficacité et qu'elles requièrent un approvisionnement constant qui n'est pas toujours assuré. Cependant le pyrèthre, bioinsecticide phare de ce marché, aujourd'hui produit par les agricultures de pays tropicaux comme le Kenya, l'Equateur ou le Ruanda, démontre qu'il est possible d'occuper commercialement une place significative.

Développer en toute cohérence le marché des produits phytopharmaceutiques à base d'allomones végétales et d'extraits botaniques, et diversifier les ressources, nécessite de poursuivre une démarche méthodologique scientifique rigoureuse, s'appuyant sur l'avancée des connaissances afin de promouvoir une agriculture agro-écologique, scientifique et technologique. Cela suppose de promouvoir les recherches dans le domaine de l'Ecologie chimique. On se doit également d'encourager les progrès technologiques réalisés par l'agro-industrie pour la mise au point et le contrôle de la qualité de produits standardisés.

*Ce texte s'appuie sur un travail que j'ai réalisé pour le groupe de réflexion « Potentiels de la science pour une agriculture durable » de l'Académie d'agriculture de France (voir référence C.Regnault-Roger, 2016)*

## BIBLIOGRAPHIE

- Arnason J.T., Durst T., Philogène B.J.R., 2008. Prospection d'insecticides phytochimiques de plantes tempérées et tropicales communes ou rares. *In*: Regnault-Roger C., Philogène, B.J.R. and Vincent, C. (coord) *Biopesticides d'origine Végétale*, 2nde édition. Lavoisier, Paris, 87–100.
- Chiapusio G., Gallet C., Dobremez J.F., Pelissier F., 2008. Les composés allélopathiques : des molécules phytotoxiques pour demain ? *In*: Regnault-Roger C., Philogène, B.J.R. and Vincent, C. (coord) *Biopesticides d'Origine Végétale*, 2nd edn. Lavoisier, Paris, 51-64.
- DGAL (Direction générale de l'alimentation) 2016. Note de service DGAL/SDQSPV/2016-853 03/11/2016
- Djian-Caporalino C., Bougy G., Cayrol J.C., 2008). Plantes nématicides et plantes résistantes aux nématodes *In*: Regnault-Roger C., Philogène, B.J.R. and Vincent, C. (coord) *Biopesticides d'Origine Végétale*, 2nd edn. Lavoisier, Paris, 125-186.
- JORF Journal Officiel de la République française, 2014 : LOI n° 2014-1170 du 13 octobre 2014 d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt, *JORF* n°0238 du 14 octobre 2014 page 16601
- Krisnawati H., Kallio M., Kanninen M., 2011 *Swietenia macrophylla* King: *ecology, silviculture and productivity*. CIFOR, Bogor, Indonesia, pp 24
- Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales de l'Ontario, (2016) [http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/info\\_sjwbeetles.htm](http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/info_sjwbeetles.htm). En ligne le 19.08.2016
- Pajot E., Regnault-Roger C., 2008 Stimulation des défenses naturelles des plantes et résistance induite : une nouvelle stratégie phytosanitaire ? *In*: Regnault-Roger C., Philogène, B.J.R. and Vincent, C. (coord) *Biopesticides d'Origine Végétale*, 2nd edn. Lavoisier, Paris, 231-258.
- Regnault Roger C., 1997. The potential of botanical essential oils for insect pest control. *Integr Pest Manag Rev.*, 2 :1-10
- Regnault-Roger C., 2005. Molécules allélochimiques et extraits végétaux dans la protection des plantes: nature, rôle et bilan de leur utilisation au XXe siècle. *In*: Regnault-Roger, C. (coord) *Enjeux Phytosanitaires pour l'Agriculture et l'Environnement*. Lavoisier, Paris, France, 625–650
- Regnault-Roger C., 2008. Recherche de nouveaux biopesticides d'origine végétale à caractère insecticides: démarche méthodologique et application aux plantes aromatiques méditerranéennes. *In*: Regnault-Roger, C., Philogène, B.J.R. and Vincent, C. (coord) *Biopesticides d'origine Végétale*, 2nd édition. Lavoisier, Paris, France, pp. 25–50.
- Regnault Roger C., 2014. Produits de protection des plantes : innovation et sécurité pour l'agriculture durable, Editions Lavoisier, 318p
- Regnault-Roger C., 2016. Préserver la santé les plantes avec des allomones végétales et des extraits botaniques : quelques clefs pour une phytoprotection agricole durable. Fiche « potentiels de la science » <https://www.academie-agriculture.fr/academie/groupes-de-travail/potentiels-de-la-science-pour-une-agriculture-durable>
- Regnault-Roger, C, Philogène, B.J.R. (2008) Past and current prospects for the use of botanicals and plant allelochemicals in integrated pest management. *Pharmaceutical Biology*, 46, 41–51.
- Regnault-Roger C., Vincent C., Arnason J.T. 2012, Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world, *Annual Review of Entomology*, 57, 405-424.
- Streblé G., 1989. *Les médiateurs chimiques*. Technique et Documentation-Lavoisier, Paris, pp 246