HAL
archives-ouvertes.fr

Agrosystèmes légumiers : les plantes de service contre les bioagresseurs

Caroline Djian-Caporalino, Claire Caravel, Béatrice Rhino, Anne-Violette Lavoir, François Villeneuve, Sylvain Fournet, Hélène Gautier, Marie Chave, Anne-Marie Cortesero, Philippe C. Nicot, et al.

To cite this version:

Caroline Djian-Caporalino, Claire Caravel, Béatrice Rhino, Anne-Violette Lavoir, François Villeneuve, et al.. Agrosystèmes légumiers : les plantes de service contre les bioagresseurs. Infos CTIFL, 2020, 23 p. hal-03043855

HAL Id: hal-03043855

https://hal.inrae.fr/hal-03043855

Submitted on 9 Dec 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.

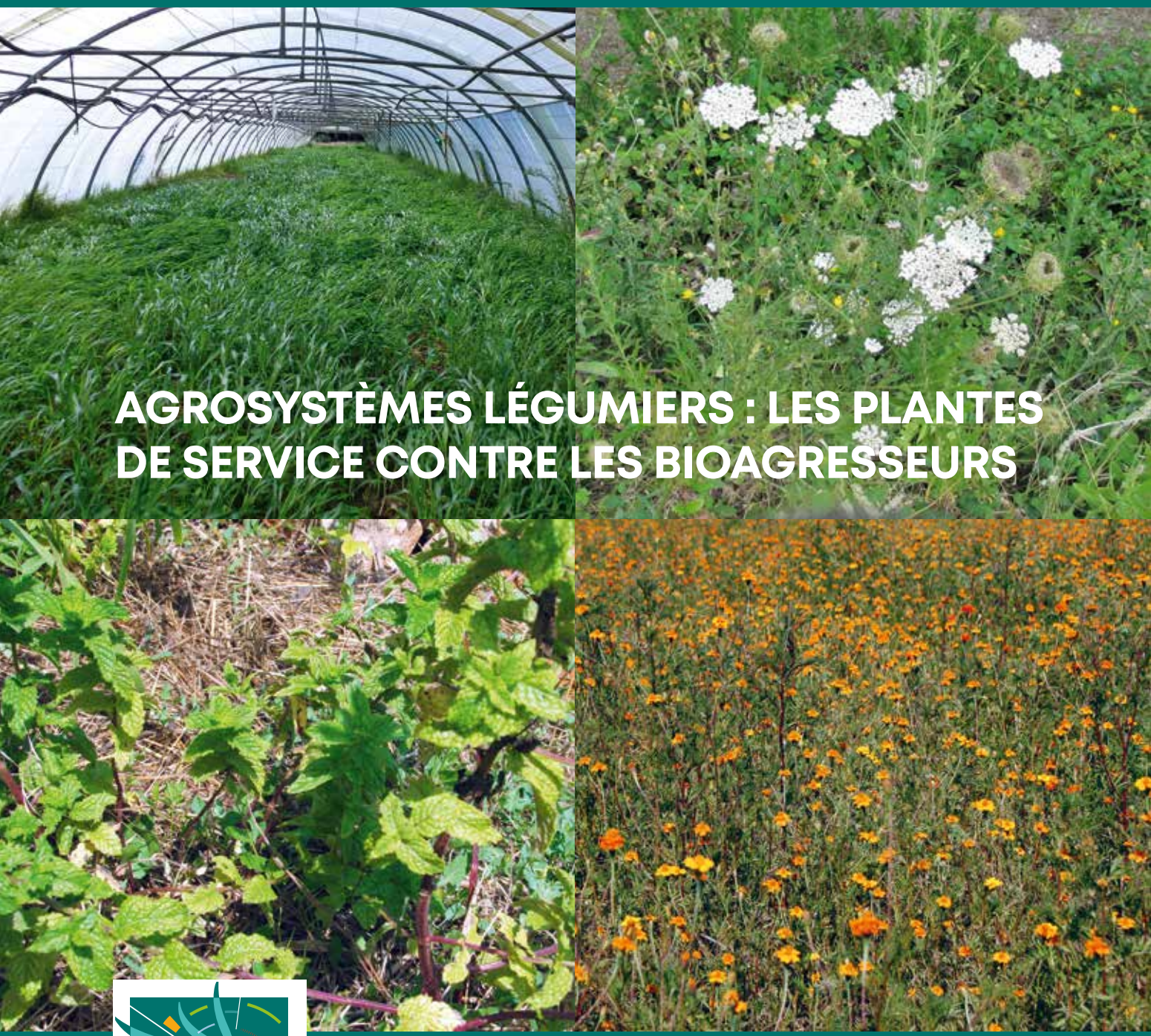
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives| 4.0 International License

HORS-SÉRIE NOVEMBRE 2020

INFOSCTIFL

LE MENSUEL DU CENTRE TECHNIQUE INTERPROFESSIONNEL DES FRUITS ET LÉGUMES



AGROSYSTÈMES LÉGUMIERS : LES PLANTES DE SERVICE CONTRE LES BIOAGRESSEURS

CTIFL SCIENCES & INNOVATION

PIClég

CAROLINE DJIAN-CAPORALINO,
INRAE-PACA (SOPHIA ANTIPOLIS)

FILIÈRE LÉGUMIÈRE ET TRANSITION AGROÉCOLOGIQUE

AUTEURS

Claire Caravel INRAE-PACA (Sophia Antipolis)/Légumes de France, Béatrice Rhino CIRAD-HORTSYS (Martinique), Anne-Violette Lavoir Université Côte d'Azur/INRAE-PACA (Sophia Antipolis), François Villeneuve CTIFL, Sylvain Fournet INRAE (Rennes), Héléne Gautier INRAE-PACA (Avignon), Marie Chave INRAE (Guadeloupe), Anne-Marie Cortesero Université de Rennes/INRAE (Rennes), Philippe Nicot INRAE-PACA (Avignon), Marjorie Romeo INRAE-PACA (Sophia Antipolis), Marc Delporte CTIFL, Charlotte Berthelot CTIFL

REMERCIEMENTS À

David Bouvard ACPEL, Benjamin Gard CTIFL, Justine Garnodier CTIFL, Sandrine Gelin INRAE (Lyon), Claire Goillon APREL, Jérôme Lambion GRAB, Valérie Le Clerc Université Agrocampus Ouest/INRAE (Angers), Michel Ponchet INRAE-PACA (Sophia Antipolis), Alexandra Schoeny INRAE (Avignon), Hélène Vedie GRAB, Nathalie Boissot INRAE-PACA (Avignon)

SOMMAIRE

2	Filière légumière et transition agroécologique
4	Action directe des plantes de service sur les bioagresseurs
10	Action indirecte des plantes de service *via* les auxiliaires
14	Multiservices, combinaison de services, disservices
16	Pratiques culturales associées aux plantes de service
19	Plantes de service : méthode innovante et alternative
22	Bibliographie

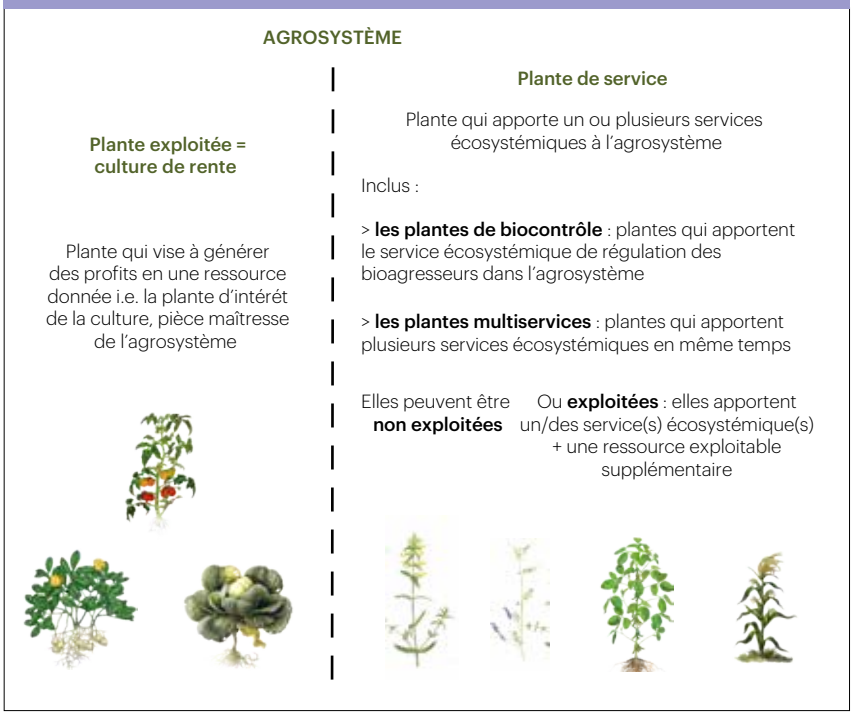
> L'AUGMENTATION DE LA BIODIVERSITÉ : UN ENJEU POUR LA TRANSITION AGROÉCOLOGIQUE (*ARGIOPE* SP.)

La filière légumière, comme les autres filières agricoles, doit s'adapter aux obligations réglementaires, tant au niveau européen (directive 2009/128/CE) qu'au niveau national (plans ECOPHYTO[1], Loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt 2014-1170) pour réduire l'utilisation des intrants de synthèse et opérer une transition vers l'agroécologie. En parallèle, les agriculteurs doivent également faire face à une forte demande sociétale de la part des consommateurs et répondre à leurs exigences de plus en plus prégnantes sur les modes de production (cahiers des charges, circuits courts...). En effet, selon une étude menée en 2017, 85 % des Français estiment important de développer l'agriculture biologique et 26 % ont l'intention d'augmenter leur consommation de produits biologiques (site internet : Agro Media, 2018).

Une des problématiques cruciales rencontrées par la filière légumière est la régulation des populations de bioagresseurs[2] aériens et telluriques dans les agrosystèmes. Cette filière est l'une des premières à chercher des alternatives aux intrants de synthèse pour mieux gérer les bioagresseurs et favoriser des solutions de biocontrôle[3], notamment la lutte biologique, devenue un levier d'action majeur sous serre (Messelink *et al.*, 2014). Cependant, elle manque encore de solutions alternatives aux produits phytosanitaires et en particulier de biocontrôle. Les causes en sont la complexité des systèmes de production (plein champ/abris et sol/hors sol), la diversité des bassins de production et la grande diversité des espèces cultivées (77 espèces de légumes répertoriées). À cela s'ajoutent de hautes exigences sur les autorisations de mise sur le marché de solutions alternatives et l'étroitesse de ce marché pour les firmes commerciales. Il reste à noter l'influence, encore très forte aujourd'hui, d'autres spécificités des cultures légumières, comme par exemple la nécessité d'une excellente qualité visuelle du produit correspondant aux exigences du marché et répondant au mode d'achat à distance, et aux habitudes du consommateur. Ainsi, aujourd'hui, 41 % des usages phytosanitaires sont non pourvus c'est-à-dire sans moyens de protection dont alternatif.

Dans ce contexte, l'utilisation des plantes de service à visée de protection des cultures représente une voie alternative de perspective en réponse aux problématiques actuelles des professionnels. Ces plantes vont apporter un ou plusieurs services écosystémique(s) à l'agrosystème (Figure 1). On qualifie les plantes de service de « plantes de biocontrôle » lorsqu'elles assurent une régulation des populations de bioagresseurs ou une réduction de leurs capacités infectieuses.

FIGURE 1 : Le rôle des plantes de service dans l'agrosystème



Les plantes de service sont diverses et variées de par le nombre d'espèces utilisées, la diversité de leurs modes d'actions, et la sémantique les concernant n'est pas toujours très claire. Néanmoins, elles sont généralement différenciées en deux catégories en fonction de leur action directe ou indirecte sur les bioagresseurs ciblés (Parolin *et al.*, 2012 ; Parker *et al.*, 2013). On distingue donc les plantes de service qui peuvent agir directement sur les bioagresseurs : elles permettent de 1/ révéler la présence des bioagresseurs ; 2/ leur masquer la culture de rente ; 3/ les repousser et/ou ; 4/ assainir la culture. Les plantes de service peuvent aussi agir sur les bioagresseurs de manière indirecte, par le biais d'un organisme intermédiaire (ennemi naturel/auxiliaire ou organisme mutualiste) : elles permettent de 1/ les attirer ; 2/ les retenir en leur fournissant un habitat et des ressources nutritives alternatives voire ; 3/ les élever.

L'objectif de ce hors-série est de présenter les différentes utilisations possibles des plantes de service dans les agrosystèmes légumiers. Nous identifierons, dans une première partie, les plantes ayant une action directe sur les bioagresseurs ciblés. Dans une seconde partie, nous verrons comment certaines d'entre elles peuvent aussi agir indirectement *via* un organisme auxiliaire. La troisième partie sera consacrée aux autres services que ces plantes peuvent rendre en plus de celui de régulation des bioagresseurs (plantes multiservices), avec la présentation d'un exemple de combinaison de services, et en quoi elles peuvent aussi avoir, dans certains cas, des effets négatifs sur la culture de rente (disservices). Enfin, la quatrième et dernière partie portera sur les pratiques culturales associées aux plantes de service en culture légumière. ■

---

[1] Le plan Écophyto II+ matérialise les engagements pris par le Gouvernement et a pour objectif de réduire les usages de produits phytopharmaceutiques de 50 % d'ici 2025.

[2] Les bioagresseurs regroupent les ravageurs (arthropodes, nématodes ou gastéropodes), les pathogènes (champignons, bactéries ou virus) ou adventices.

[3] Les produits de biocontrôle sont définis par la Loi d'avenir agricole n° 2014-1170 du 13/10/2014 comme des agents et/ou produits utilisant des mécanismes naturels dans le cadre de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures (pour plus de détails se référer au hors-série INFOS-CTIFL Dossier légumes : le biocontrôle, en ligne sur CTIFL.fr, le site Ecophytopic et le site picleg.fr).

CAROLINE DJIAN-CAPORALINO,
INRAE-PACA (SOPHIA ANTIPOLIS)

ACTION DIRECTE DES PLANTES DE SERVICE SUR LES BIOAGRESSEURS

Les plantes de service peuvent apporter un service de régulation des bioagresseurs de manière directe. Leur effet peut être de révéler la présence d'un bioagresseur, de le repousser, de l'attirer en dehors de la culture, d'inhiber son impact ou de le tuer (Tableau 1).

DÉTECTER PRÉCOCEMENT LES BIOAGRESSEURS AÉRIENS : LES PLANTES INDICATRICES

Principe

Une plante indicatrice est une plante qui facilite la détection précoce des bioagresseurs, permettant une meilleure gestion des cultures (Parolin *et al.*, 2012). Elles sont utilisées comme outil de surveillance et représentent une méthode préventive de protection des cultures (Figure 2).

Utilisation

Ce sont des plantes qui sont plus attractives ou plus sensibles que la culture de rente à l'attaque d'un herbivore (insectes le plus souvent) ou à une maladie. L'observation de dégâts sur ces plantes indique l'arrivée des bioagresseurs sur la parcelle avant même que la culture de rente ne soit attaquée, et permet d'agir en conséquence en déclenchant une surveillance accrue ou des méthodes curatives (par ex. traitement préventif, lâchers d'ennemis naturels...).

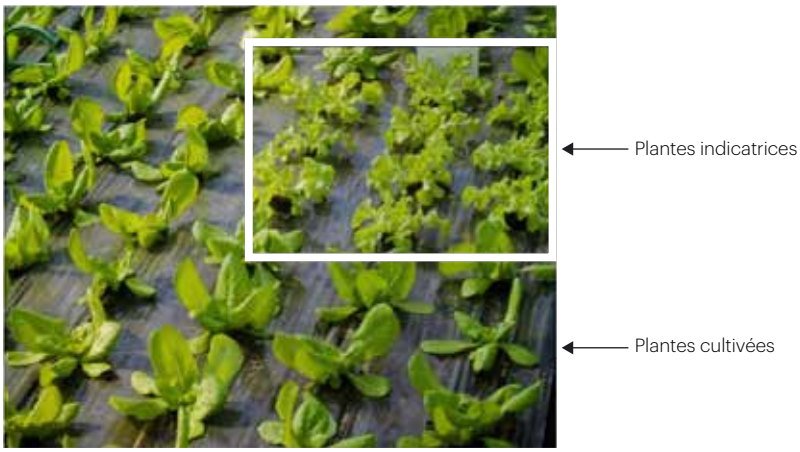
Exemples

Les plantes indicatrices sont surtout utilisées pour détecter la présence des bioagresseurs aériens. Par exemple, le pétunia est utilisé comme plante indicatrice dans les serres de tomates pour surveiller les thrips vecteurs du virus TSWV (*Tomato spotted wilt virus*) (Allen et Matteoni, 1991). Dans les cultures de carottes, l'implantation de la variété de carotte Presto, sensible aux champignons *Alternaria dauci*, permet

TABLEAU 1 : LES DIFFÉRENTES STRATÉGIES MOBILISABLES PAR LES PLANTES DE SERVICE POUR UN EFFET DIRECT CONTRE LES BIOAGRESSEURS

Mode d'action	Concept	Mécanismes de défense utilisés	Principe	Utilisation
Détecter précocement les bioagresseurs	Plantes indicatrices	Composés volatils pour les ravageurs	Utilisation d'une plante de service comme outil de surveillance	Détecter précocement les bioagresseurs avant leur attaque sur la culture de rente. Permet de déclencher des méthodes de protection
Empêcher les bioagresseurs de pénétrer sur la culture	Plantes barrières	Barrière physique	Utilisation d'une plante de service en bordure de culture ou dans la culture engendrant une obstruction physique	Réduire le niveau d'infestation des bioagresseurs en les interceptant et restreindre le mouvement des bioagresseurs aéroportés à l'intérieur de la culture
Repousser les bioagresseurs	Plantes répulsives	Barrière olfactive Composés volatils Exsudats racinaires toxiques	Utilisation d'une plante de service qui repousse le bioagresseur : le plus souvent, il s'agit d'une plante aromatique	Rendre la plante cultivée moins attractive pour le bioagresseur, en altérant son processus de reconnaissance
Diminuer le potentiel infectieux	Plantes de coupure : utilisation d'une plante de service qui permet de « casser » le cycle de reproduction du bioagresseur			
	Plantes pièges	Composés volatils Métabolites secondaires Résistance génétique	Utilisation d'une plante de service qui va attirer puis retenir le bioagresseur pour le détourner de la culture ou réduire les populations en les piégeant sans leur permettre de se reproduire	Initier un choix préférentiel ou obtenir un effet « cul-de-sac », *via* l'utilisation de plante piège sensible ou résistante
	Plantes assainissantes : plantes biocides et biofumigantes	Métabolites secondaires toxiques	Utilisation d'une plante de service pour les composés biochimiques qu'elles sécrètent par les racines ou issus de leur dégradation après fauchage, broyage et enfouissement	Tuer ou empêcher la reproduction des bioagresseurs, permettant ainsi de réduire l'inoculum infectieux pour la culture suivante

FIGURE 2 : Variété de salade attractive vis-à-vis des pucerons servant de plante indicatrice dans la culture de rente



d'observer les premières attaques sur la culture et d'intervenir précocement (Villeneuve, communication personelle). La mise en place des haricots en serres de tomates permet de surveiller les populations d'acariens comme l'araignée rouge (*Tetranychus cinnabarinus*) (Berlinger *et al.*, 1996). Des travaux ont également été effectués sur salades sous abris en utilisant des variétés très attractives et sensibles aux pucerons (Villeneuve *et al.*, 2000).

À savoir

L'utilisation de plantes indicatrices nécessite la mise en place d'une bonne gestion, afin de prévenir le risque d'une augmentation de l'infestation des bioagresseurs sur la culture à partir de ces plantes. Ainsi, la définition d'un seuil d'intervention et l'utilisation de méthodes de protection efficaces sont des éléments indispensables à associer à cette méthode de prévention.

EMPÊCHER LES BIOAGRESSEURS DE PÉNÉTRER SUR LA CULTURE : LES PLANTES BARRIÈRES

Principe

Une plante barrière est une plante plus haute que la plante cultivée. Elle est utilisée en bordure de la culture de rente, engendrant une obstruction physique à l'entrée du bioagresseur sur la parcelle (Parolin *et al.*, 2012).

Utilisation

Cette barrière va entraîner une diminution du niveau d'infestation en interceptant les bioagresseurs, mais aussi en restreignant leurs mouvements à l'intérieur de la culture.

Exemples

Les plantes barrières ont montré leur efficacité pour prévenir l'accès et limiter la dispersion de pucerons vecteurs de virus sur la culture de rente. Ainsi, une culture de courgette entourée de plants de sarrasin (*Fagopyrum esculentum*) ou de moutarde blanche (*Sinapis alba*) présente un risque plus faible d'infestation par le puceron *Aphis gossypii*, ce qui réduit également le risque de transmission du virus PRSV-W (*Papaya ringspot virus* - type W) (Hooks *et al.*, 1998). De même il est possible de protéger une culture de piment *Capsicum annuum* contre *A. gossypii* grâce à des plantes barrières de type maïs, sorgho ou tournesol, et donc de limiter la transmission des virus CMV/CVMV (*Cucumber mosaic virus*, *Cotton Vein Mosaic Virus*) (Hussein et Samad, 1993 ; Anandam et Doraiswamy 2002). Un autre exemple de plante barrière étudiée en Indonésie sur culture de poivron est la légumineuse annuelle *Crotalaria juncea*. Placée en écran visuel et physique face au vent, elle permettrait de réduire les infestations d'aleurodes *Bemisia tabaci* (Deberdt et Fernandes, 2013).

À savoir

L'utilisation des plantes barrières possède des limites. En effet, pour qu'elles soient efficaces, il est nécessaire de les utiliser en très grande densité et qu'elles soient plus hautes que la culture de rente. Il est donc souvent difficile de mettre en place ce type de plantes de service, même si elles peuvent être très efficaces, comme le prouvent les exemples mentionnés précédemment. Il faut aussi bien connaître la biologie du bioagresseur pour ne pas obtenir l'effet inverse de celui recherché. La mise en œuvre de plante barrière peut s'avérer être un refuge pour le bioagresseur et donc induire plus de dégâts sur la culture de rente.

REPOUSSER LES BIOAGRESSEURS : LES PLANTES RÉPULSIVES

Principe

Une plante répulsive est une plante qui repousse les bioagresseurs (Parolin *et al.*, 2012). Il s'agit le plus souvent d'une plante aromatique.

Utilisation

Les plantes répulsives rendent la plante cultivée moins attrayante pour le bioagresseur. Elles peuvent repousser les bioagresseurs aériens, *via* la diffusion de composés volatils (pouvant être sécrétés par les trichomes), et les bioagresseurs telluriques, *via* l'émission d'exsudats racinaires toxiques (voir encadré exsudats racinaires p. 7).

Lorsque le bioagresseur ciblé est un insecte, on parle de plantes insectifuges ; elles altèrent le processus de reconnaissance de ces bioagresseurs en les empêchant de rechercher, localiser et/ou reconnaître leur hôte, *via* l'utilisation de composés volatils (Deletré *et al.*, 2016). On distingue plusieurs types de répulsivité contre les insectes, listés en figure 3.

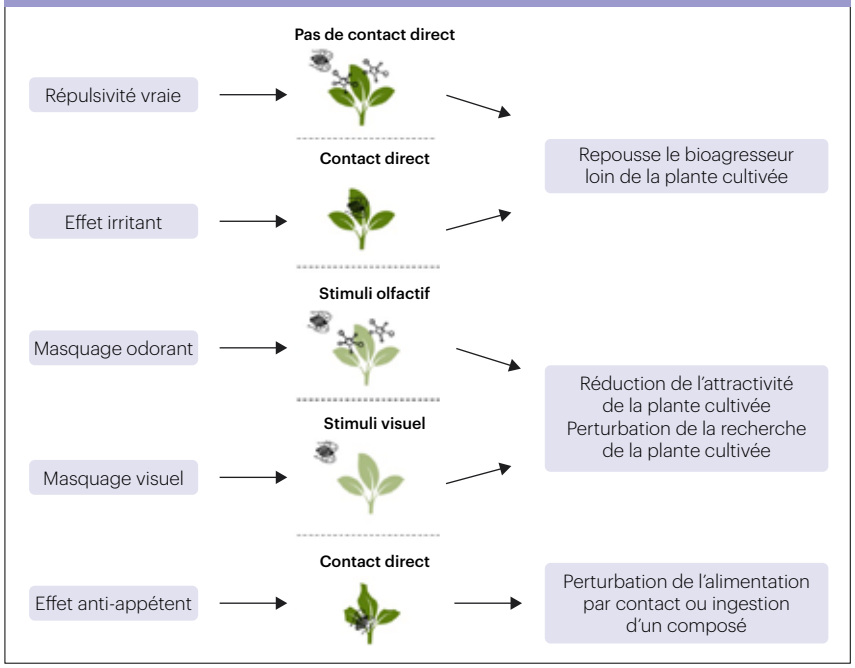
Exemples

Les plantes insectifuges sont principalement utilisées pour leur capacité de répulsivité vraie. Par exemple, les oignons utilisés en association avec des cultures de carotte permettent de repousser la mouche de la carotte (*Psila rosae*) (Uvah et Coaker, 1984). De même, l'association de tanaisie, *Tanecetum vulgare,* sur des cultures de choux permet d'inhiber leur colonisation par des altises adultes, *Phyllotreta cruciferae* (Latheef et Ortiz, 1984). Des travaux d'INRAE montrent que certains composés volatils émis par le romarin ont un effet répulsif sur le puceron *Myzus persicae* (Dardouri *et al.*, 2019,b). Les tagètes (*Tagetes patula, Tagetes erecta*...) ont la capacité de repousser les pucerons, *via* l'émission de composés volatils (Morallo-Rejesus et Decena, 1982).

Les plantes à exsudat racinaire répulsif

CAROLINE DJIAN-CAPORALINO,
INRAE-PACA (SOPHIA ANTIPOLIS)

FIGURE 3 : Catégories de répulsivité basées sur le comportement des insectes bioagresseurs (adapté de Deletré *et al.*, 2016)



sont principalement employées vis-à-vis des nématodes. C'est le cas du concombre sauvage, *Cucumis myriocarpus*, un mauvais-hôte des nématodes à galles, capable de synthétiser une molécule appelée Cucurbitacine A (Cucumine/Leptodermine, commercialisée en Afrique du Sud sous le nom « Nemarioc ») qui agirait sur le taux d'attraction des larves de *Meloidogyne* (Hayne *et al.*, 1976 ; Dube et Mashela, 2017).

À savoir

Les effets des plantes répulsives peuvent être très variables. Par exemple, une étude portée par Ben Issa *et al.*, (2017) a montré que lors d'essais sur culture de poivron sous tunnel, le rayon d'action du romarin impactant les pucerons est faible : au-delà de 2,5 mètres, aucun effet sur les pucerons n'était observé. Sur culture de melon au champ, aucun effet du romarin n'a pu être observé sur *Aphis gossypii* (projet Agath[4]). Ces résultats pourraient s'expliquer par la différence de sensibilité aux composés volatils selon l'espèce de bioagresseur, et/ou par un effet de masquage odorant (Figure 3) : le romarin masquerait l'odeur du poivron pour le puceron alors qu'il ne masquerait pas l'odeur du melon. De plus, l'efficacité des plantes répulsives dépend aussi de la biologie des insectes et de leur capacité à percevoir les odeurs.

Des travaux sont en cours sur différentes cultures pour rechercher quels sont les agencements culturaux permettant de mettre en place des distances optimales entre plantes répulsives et plantes cultivées (lire p. 16 et suivantes). Par ailleurs, le choix de la plante de service doit être réfléchi pour éviter des effets répulsifs indésirables sur d'autres espèces ayant un impact bénéfique sur la culture de rente, comme par exemple les pollinisateurs ou les ennemis naturels des bioagresseurs (lire p. 10 et suivantes).

DIMINUER LE POTENTIEL INFECTIEUX : LES PLANTES DE COUPURE ET PIÈGES

PIÉGER LES BIOAGRESSEURS OU LES ATTIRER EN DEHORS DE LA CULTURE : LES PLANTES PIÈGES

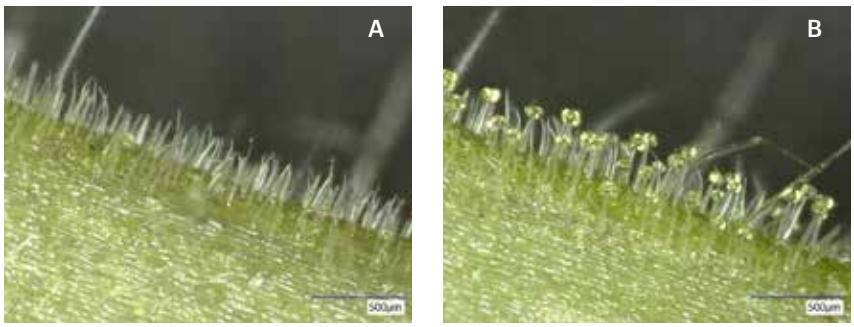
Principe

Une plante piège est une plante qui va attirer puis retenir le bioagresseur (Shelton et Badenes-Perez, 2006). Elle peut être

BARRIÈRES PHYSIQUES : ÉPIDERME, CUTICULE ET TRICHOME

Les plantes peuvent avoir des caractéristiques morphologiques qui les protègent en jouant le rôle de barrière physique contre les bioagresseurs. C'est le cas par exemple de poils ou trichomes sur l'épiderme des racines et des parties aériennes des plantes. Une forte pilosité peut gêner les mouvements, le comportement alimentaire ou la ponte des insectes ravageurs (Levin, 1973). Certains types de trichomes dits glandulaires sécrètent des composés qui vont affecter le développement, la reproduction ou la ponte des bioagresseurs (Glas *et al.*, 2012). Parmi ces composés, on retrouve notamment les composés volatils, exerçant un effet répulsif (voir encadré composés volatils p. 10).

À une échelle microscopique, la composition et l'épaisseur de certains tissus ou de la paroi des cellules de la plante peuvent aussi constituer une barrière à la pénétration des bioagresseurs. C'est le cas par exemple de la cuticule (une couche de cire hydrophobe couvrant l'épiderme des plantes), que les agents pathogènes doivent être capables de traverser avant d'accéder aux cellules de l'épiderme (Ziv *et al.*, 2018).



> PHOTOGRAPHIES DE TRICHOMES NON GLANDULAIRE (A) ET GLANDULAIRE (B) SUR FEUILLES DE TOMATE

© ISA INRAE

[4] **Agath : Projet Ecophyto (2013-2015) labellisé PIClég visant à mettre au point un ensemble de techniques agroécologiques favorisant de façon synergique la régulation naturelle des populations de deux insectes piqueurs-suceurs qui provoquent d'importants dégâts respectivement en cultures de melons et de poireaux, le puceron *Aphis gossypii* et le thrips *Thrips tabaci*.**

utilisée : 1/ en association avec la culture de rente pour détourner le bioagresseur de cette dernière, ou 2/ en rotation pour réduire les populations de bioagresseurs en les piégeant sans leur permettre de se reproduire. Dans ce cas, les plantes pièges sont des plantes de coupure, qui vont permettre de « casser » le cycle de reproduction du bioagresseur.

Utilisation

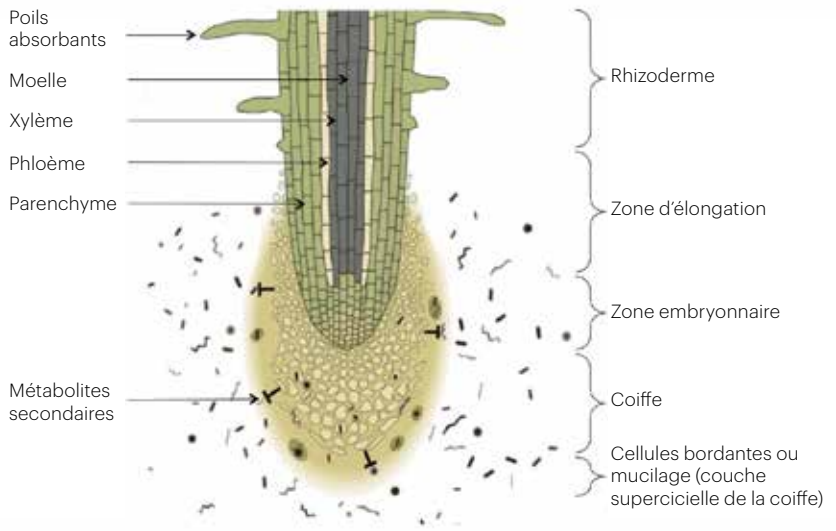
Le but est soit d'initier un choix préférentiel, c'est-à-dire que les bioagresseurs choisissent la plante de service et non la culture de rente, soit d'obtenir un effet « cul-de-sac » destiné à empêcher ou limiter la reproduction du bioagresseur et donc de réduire ses populations. Ces deux effets peuvent être obtenus soit avec des plantes sensibles, soit avec des plantes résistantes. Dans le cas de l'utilisation d'une plante sensible, le choix se fera préférentiellement pour des espèces mauvaises hôtes qui vont attirer les bioagresseurs mais qui les empêcheront au moins partiellement d'accomplir leur cycle, soit en les empoisonnant, soit en ne leur fournissant pas les éléments indispensables à leur développement (Figure 4).

Exemples

Des Brassicacées mauvais hôtes, comme le radis fourrager (*Raphanus sativus* var. *oleifera*) ou la moutarde blanche (*Sinapis alba*) permettent, en interculture,

EXSUDATS RACINAIRES

D'une manière générale, les plantes sécrètent des exsudats racinaires pour orchestrer activement leurs interactions avec les micro-organismes du sol. Certains exsudats sont sécrétés constamment par la plante, tandis que d'autres sont sécrétés seulement après l'attaque d'un bioagresseur. Dans les deux cas, ils permettent de se protéger de manière directe ou indirecte contre les bioagresseurs du sol. De manière directe en sécrétant du mucilage[5] formant une barrière physique autour de la racine et/ou en synthétisant des molécules aux propriétés fongicides ou bactéricides (Uren, 2007 ; Bais *et al.*, 2006) ; et de manière indirecte en recrutant des micro-organismes prédateurs ou parasites qui vont lui apporter des services et bénéfices en la protégeant des bioagresseurs (Haichar *et al.*, 2014 ; Huang *et al.*, 2014).



> ACTION DES EXSUDATS RACINAIRES DANS LA LUTTE CONTRE LES AGENTS PATHOGÈNES. LES MICRO-ORGANISMES REPRÉSENTÉS SONT DES CHAMPIGNONS PATHOGÈNES, DES OOMYCÈTES, DES BACTÉRIES, DES VIRUS, DES NÉMATODES ET DES ARTHROPODES (D'APRÈS SARAH STEINBACHER, UNIVERSITY OF ZURICH)

FIGURE 4 : Relations entre les plantes et les bioagresseurs

	Non-hôte (pas d'infestation)	Hôte (infestation possible)			
Types d'interaction	Aucun génotype de l'espèce végétale n'est attaqué	Incompatible	Peu compatible	Compatible	
Plante	Immune	Résistance	Partiellement résistante ou mauvais-hôte	Tolérante	Sensible
Défense de la plante	Barrières structurelles ou biochimiques ou activation de l'immunité innée	Défenses basales et défense spécifique (gènes de résistance)	Uniquement défenses basales	Pas de défense	Pas de défense
Résultats	Aucun dégât. Généralement, pas de multiplication du bioagresseur	Peu ou pas de dégât. Peu ou pas de multiplication du bioagresseur	Dégâts peu importants. Peu de multiplication du bioagresseur	Pas de dommage ou peu important. Multiplication du bioagresseur	Dommages importants. Multiplication du bioagresseur

La figure représente les relations de hôtes/non-hôtes qu'ont les plantes avec les bioagresseurs en fonction du type d'interaction, des défenses de la plante et du résultat obtenu (adaptée de Hammond-Kosack et Kanyuka, 2007 ; Cooper et Jones, 1983 ; Villeneuve *et al.*, 2001 ; Villeneuve *et al.*, 2013)

CAROLINE DJIAN-CAPORALINO,
INRAE-PACA (SOPHIA ANTIPOLIS)

de réduire les populations du nématode de la betterave, *Heterodera schachtii*, en l'empêchant d'accomplir son cycle de développement (Back *et al.*, 2018). Le sorgho fourrager Piper s'est également révélé plante piège des nématodes à galles du genre *Meloidogyne*, permettant de diminuer les populations de plus de 80 % lorsqu'il était détruit et enfoui en rotation avant la fin du cycle du nématode, soit trois semaines après semis (projet GeDuNem, Goillon *et al.*, 2016 ; Djian-Caporalino *et al.*, 2019a ; Djian-Caporalino *et al.*, 2019b). Une expérimentation menée sur l'île de Ré a permis de montrer que l'utilisation de la variété de pomme de terre « île d'Her », résistante au nématode à kystes, *Globodera pallida*, diminuait fortement ces populations dans la parcelle (Bouvard *et al.*, 2008). Un piment résistant combinant deux gènes de résistance aux nématodes à galles et utilisé en engrais vert entre deux cultures de rente, s'est révélé une très bonne plante piège diminuant les populations de nématodes de plus de 90 % : les nématodes sont attirés dans les racines mais ne peuvent accomplir leur cycle et sont stoppés dans leur développement (Projet GeDuNem[6] ; Navarette *et al.*, 2018 ; Dijan-Caporalino *et al.*, 2019a)

Dans le cas de bioagresseurs aériens, l'utilisation de plantes pièges est plus efficace pour des insectes ayant la capacité de contrôler leurs mouvements, tels que les lépidoptères et les coléoptères. Par exemple, sur des cultures de chou, la mise en place de roquette jaune (*Barbarea vulgaris*) permet d'attirer et de retenir la teigne des crucifères, permettant ainsi de réduire son infestation (Badenes-Perez *et al.*, 2005). Toujours sur culture de chou, les travaux conduits dans le cadre du projet IMPULsE[7] ont montré que le colza pouvait jouer le rôle de plante piège vis-à-vis des punaises du chou (*Eurydema* sp.) et réduire de façon significative la présence de ces punaises sur la culture (Gard *et al.*, 2019). En Martinique, l'utilisation de maïs doux comme plante piège permet de protéger la culture de tomate de la noctuelle de la tomate, *Helicoverpa zea* (Rhino et Ratnadass, 2017). De même, à La Réunion, le maïs utilisé en association sur culture de courgette permet de piéger trois espèces de mouches de légumes nuisibles : *Bactrocera cucurbitae, Dacus ciliatus* et *Dacus demmerezi* (Projet Gamour[8] ; Deguine *et al.*, 2013). Des études menées dans le cadre du projet Devag[9] ont montré que le basilic cannelle permet d'attirer l'aleurode, *Bemisia tabacci*, et donc de diminuer le nombre d'attaques de l'insecte lorsqu'il est associé à une culture de tomates (Rhino *et al.*, 2014).

> DANS LE CADRE DE LA BIODÉSINFECTION, LE BROYAGE ET L'INCORPORATION DOIVENT ÊTRE FAIT TRÈS RAPIDEMENT

À savoir

L'efficacité de la plante piège dépend de ses facultés d'attraction et de rétention du bioagresseur. Un autre facteur clé est la capacité de l'agriculteur à contrôler le bioagresseur une fois piégé. En effet, lorsque les plantes de service utilisées n'ont pas d'effet « cul-de-sac », il est indispensable d'éliminer le bioagresseur présent pour qu'il ne puisse pas infester la culture ou augmenter le potentiel infectieux. Si cela est faisable pour des plantes pièges de bioagresseurs telluriques tels que les nématodes à l'heure actuelle, pour les plantes pièges de bioagresseurs aériens, il n'existe pas de dispositifs mécaniques suffisamment efficaces et rentables (aspiration par exemple) pouvant être substitués à l'utilisation des produits phytosanitaires. Il est aussi possible de détruire directement la plante de service avant la fin du cycle de reproduction ou d'appliquer une intervention spécifique pour obtenir la réduction espérée.

La présence de la plante piège et sa durée d'attractivité doivent être suffisamment longues pour couvrir toute la période pendant laquelle la plante de rente doit être protégée, au risque de voir une forte augmentation des ravageurs sur cette dernière.

Il faut être vigilant à ne pas utiliser une culture de rente résistante sur le long terme : l'utilisation récurrente de la même résistance génétique peut favoriser la sélection d'individus virulents et aboutir au contournement de la résistance (Lannou *et al.*, 2020). Il est également important de souligner que selon les espèces/variétés/cultivars de plantes pièges et selon les

[5] Un mucilage est une substance végétale constituée de polysaccharides, qui gonfle au contact de l'eau et produit une substance visqueuse semblable à la gélatine. Elle permet de protéger les racines contre les infections ou des agressions externes.

[6] GeDuNem : Projet Inrae métaprogramme SMaCH (2012-2016) labellisé PIClég visant à identifier des stratégies innovantes qui associent la résistance variétale naturelle à d'autres techniques culturales comme la solarisation, la gestion de la rotation et de l'interculture ou encore la biofumigation par exemple, pour lutter contre les nématodes à galles.

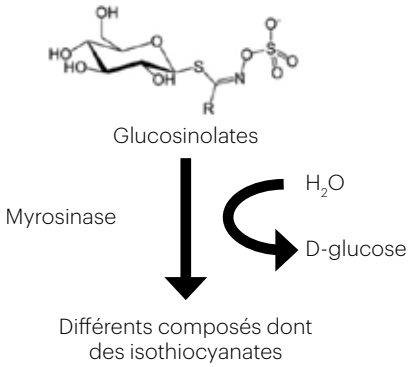
[7] IMPULsE : Projet Casdar-Ecophyto (2017-2020) labellisé PIClég visant à développer de nouvelles solutions de contrôle biologique contre les punaises phytophages en cultures légumières et à proposer des stratégies de protection innovantes, fiables, rentables.

[8] Gamour : Projet Casdar (2009-2011) visant à gérer les populations de Mouches des Cucurbitacées présentes à La Réunion *via* des innovations techniques de protection des cultures (augmentorium, plantes pièges, appâts adulticides, piégeage sexuel).

[9] Devag : Projet financé par le programme Interreg IV (2009-2013) visant à accélérer la mise au point de systèmes de cultures horticoles innovants et durables, pour augmenter l'approvisionnement des marchés locaux de la Caraïbe en produits frais et sains.

MÉTABOLITES SECONDAIRES

Contrairement aux métabolites primaires, qui sont liés à la nutrition de la plante et qui assurent sa croissance et son développement, les métabolites secondaires lui permettent, entre autres, de se protéger contre les agressions des pathogènes et des herbivores (Kessler et Kalske, 2018). Il existe une grande diversité de métabolites secondaires (environ 200 000), qui diffèrent selon les espèces (Tissier *et al.*, 2014). Certains composés sont constamment synthétisés par la plante, tandis qu'une partie d'entre eux sont produits exclusivement après une agression par un bioagresseur (Djian-Caporalino *et al.*, 2008). Certains métabolites secondaires ont un effet toxique pour nombre de bioagresseurs et seuls ceux disposant d'enzymes capables de les détoxifier (par exemple grâce à la tomatinase qui dégrade la tomatine) peuvent se développer sur la plante (Okmen *et al.*, 2013). Pour les Glucosinolates, métabolite présent chez certains Brassicaceae, c'est leur hydrolyse enzymatique (*via* la myrosinase) après enfouissement et décomposition dans le sol qui libère des isothiocyanates nématicides (Kirkegaard et Sarwar, 1998).



> SCHÉMA DE LA DÉCOMPOSITION DES GLUCOSINOLATES EN ISOTHIOCYANATES SOUS L'EFFET DE LA MYROSINASE

bioagresseurs, on n'observe pas systématiquement les mêmes réponses. C'est le cas des sorghos fourragers dont certaines variétés peuvent être sensibles, mauvais hôtes ou non-hôtes de nématodes à galles (Projet GeDuNem[6] ; Djian-Caporalino *et al.*, 2019b). Le choix des variétés est donc très important.

ASSAINIR LA CULTURE : LES PLANTES BIOCIDES ET BIOFUMIGANTES (PLANTES ASSAINISSANTES)

Principe

Les plantes assainissantes, regroupant les plantes biocides et biofumigantes, permettent d'assainir la parcelle de culture. De la même façon que les plantes pièges, les plantes assainissantes vont agir comme plantes de coupure contre les bioagresseurs telluriques.

Les plantes biocides sont utilisées vivantes et en association culturale pour les composés biocides qu'elles peuvent émettre dans le sol *via* sécrétion au niveau de leurs racines.

Les plantes biofumigantes sont utilisées mortes ou sèches et en rotation pour les composés biocides qu'elles peuvent émettre après fauchage, broyage et enfouissement dans le sol (voir encadré sur les métabolites secondaires). On parle alors de biofumigation. Après enfouissement, le sol est souvent tassé puis recouvert ou non d'une bâche en plastique. Le bâchage permet de limiter la volatilisation des composés dans l'atmosphère.

Utilisation

Le but dans les deux cas est de réduire l'inoculum infectieux pour la culture associée ou la culture suivante. Pour cela, les plantes assainissantes agissent par allélopathie[10] en diffusant des composés biochimiques dans le sol pour réduire les populations de bioagresseurs sous le seuil de tolérance, en les empêchant de réaliser leur cycle infectieux.

Exemples

À la Martinique, les légumineuses tropicales du genre *Crotalaria*, telles que *C. juncea*, *C. spectabilis*, et la ciboule, *Allium fistulosum*, sont utilisées comme plantes biocides en association, pour leur pouvoir assainissant contre *Ralstonia solanacearum*, agent du flétrissement bactérien de la tomate à la Martinique, sur culture de tomates (Fernandes *et al.*, 2012 ; Deberdt *et al.*, 2014 ; Deberdt *et al.*, 2015). Ces plantes peuvent aussi être utilisées en tant que plantes biocides contre les nématodes phytoparasites : *C. juncea*, *C. grantiana* et *C. spectabilis*, montrent en effet des effets biocides vis-à-vis de *Meloidogyne incognita* (Jourand *et al.*, 2004 ; Osei *et al.*, 2010).

Contre les nématodes à galles et à kystes en particulier, la biofumigation est aussi très utilisée et renvoie essentiellement à l'utilisation de composés biocides issus de la décomposition de diverses espèces de Brassicacées, d'Aliacées et de Poacées (Projet Serum[11] ; Back *et al.*, 2018). Sous serre, l'incorporation de broyats de trois variétés de *B. juncea* dans des pots de plants de pommes de terre permet une mortalité de 95 % de *Globodera pallida* à l'intérieur des kystes (Lord *et al.*, 2011). Cette technique a également fait ses preuves contre certains agents pathogènes telluriques, tels que *Pythium* sp., *Thielaviopsis basicola* et *Verticillium dahliae*. Les plantes biofumigantes permettent aussi de contrôler certaines adventices. L'incorporation de résidus de Brassicacées en tant que biofumigant diminue respectivement jusqu'à 79 % et 48 % la digitaire (*Digitaria sanguinalis*) et l'amarante (*Amaranthus palmeri*) sur culture de poivron (Norsworthy *et al.*, 2007).

À savoir

Concernant la biofumigation, les résultats sont difficiles à prédire, car soumis à de nombreux facteurs externes (par ex. climat, pédologie). Tout d'abord, une attention particulière doit être apportée au choix de l'espèce/variété et à la saison d'implantation qui peuvent affecter la quantité et la qualité de biomasse produite, et donc l'efficacité de la plante de service utilisée comme biofumigant. Ensuite, l'incorporation du couvert dans le sol doit intervenir dans un laps de temps assez court après le fauchage, l'émission des composés volatils toxiques intervenant très rapidement et de manière éphémère. ■

[10] Ensemble des interactions biochimiques réalisées par les plantes entre elles, ou avec des micro-organismes.

[11] Serum : Projet Ecophyto (2015-2018) visant à tester des plantes assainissantes (cives et crotalaires) contre les nématodes à galles (*Meloidogyne*) et le frétissement bactérien (*Ralstonia solanacearum*) en région tempérée et tropicale humide.

CAROLINE DJIAN-CAPORALINO,
INRAE-PACA (SOPHIA ANTIPOLIS)

ACTION INDIRECTE DES PLANTES DE SERVICE *VIA* LES AUXILIAIRES

Les plantes de service peuvent apporter un service de régulation des bioagresseurs de manière indirecte. Cette stratégie implique l'action d'organismes intermédiaires (ennemis naturels ou organismes mutualistes). Le principe est d'attirer, retenir, voire élever dans l'agrosystème un ou des organismes qui vont permettre de se protéger contre les bioagresseurs (Tableau 2). On distingue :
– les plantes de service favorisant les ennemis naturels/auxiliaires des bioagresseurs (principalement aériens) ;
– les plantes de service favorisant les organismes mutualistes telles que les plantes mycorhizotrophes qui vont attirer et favoriser l'installation des champignons mycorhiziens à arbuscules.

LES PLANTES DE SERVICE FAVORISANT LES ENNEMIS NATURELS

ATTIRER LES AUXILIAIRES : LES PLANTES ATTRACTIVES

Principe
Les plantes de service dites attractives ont la capacité d'attirer dans l'agrosystème les ennemis naturels des bioagresseurs (essentiellement insectes ravageurs).

Utilisation
L'attraction des ennemis naturels se fait par le biais de stimuli visuels ou d'odeurs (lire encadré sur les composés volatils).

Exemples
Sur culture de poireau, la présence des plantes de service, telles que le mélilot (*Melilotus* sp.), l'achillée millefeuille (*Achillea millefolium* L.) et/ou certaines plantes arbustives comme le charme commun (*Carpinus betulus*) permettent d'attirer un auxiliaire, le thrips, *Aeolothrips intermidius*, qui est le principal prédateur des thrips phytophages (INFOS-CTIFL n° 334 septembre 2017). Plusieurs études au champ et au laboratoire ont démontré le potentiel du basilic à attirer le chrysope vert, *Ceraeochrysa cubana*, espèce présente dans les caraïbes et prédateur de cochenilles, chenilles, pucerons et acariens. Les femelles sont attirées par les plants de basilic même en absence de fleurs (Batista *et al.*, 2017).

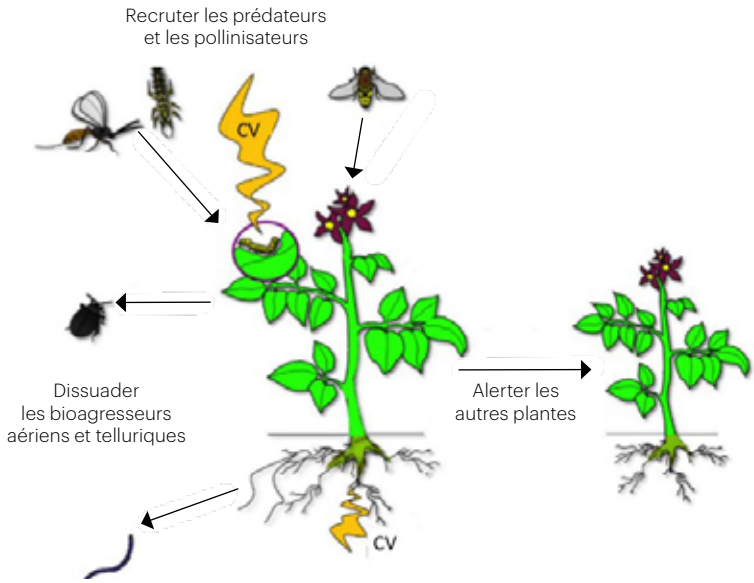
À savoir
Les plantes attractives sont en grande majorité des plantes de service qui vont aussi retenir les auxiliaires pour permettre leur maintien et leur établissement sur la culture de rente.

RETENIR LES AUXILIAIRES PAR L'HABITAT OU PAR DES RESSOURCES NUTRITIVES ALTERNATIVES : LES PLANTES À HABITAT, LES PLANTES BANQUES ET LES PLANTES NOURRICIÈRES

Principe
Ces plantes de service favorisent l'établissement et le maintien des ennemis naturels dans les parcelles. Elles offrent

COMPOSÉS VOLATILS

Les composés volatils ou sémiochimiques d'origine végétale sont des métabolites secondaires. Ils sont libérés dans l'atmosphère par les feuilles, fleurs et fruits ou dans le sol par les racines. Leurs caractères volatils offrent des propriétés intéressantes pour la communication entre les plantes et les autres organismes vivants et permettent notamment une défense directe ou indirecte de la plante (Baldwin, 2010). Il existe trois types de composés différents ayant chacun un effet particulier : ceux qui 1/ dissuadent les nuisibles de s'alimenter, de s'approcher ou de pondre sur la plante émettrice ; 2/ recrutent les ennemis naturels des cultures (p. 10) et ; 3/ alertent les autres plantes voisines d'un danger pour qu'elles soient également protégées de manière passive (Unsicker *et al.*, 2009 ; Heil et Silva Bueno, 2007).



> EFFETS DES COMPOSÉS VOLATILS SUR L'ENVIRONNEMENT DE PROXIMITÉ DE LA PLANTE (CV : COMPOSÉS VOLATILS), D'APRÈS DICKE ET BALDWIN, 2010

TABLEAU 2 : LES DIFFÉRENTES STRATÉGIES MOBILISABLES PAR LES PLANTES DE SERVICE POUR UN EFFET INDIRECT CONTRE LES BIOAGRESSEURS *VIA* L'ACTION DE LEURS ENNEMIS NATURELS (AUXILIAIRES)

Mode d'action	Concept	Utilisation
Attirer	Plante attractive	Attirer les ennemis naturels sur la culture de rente par le biais de stimuli visuels ou d'odeurs
Retenir par l'habitat	Plante à habitat	Proposer un site de ponte et/ou un habitat approprié permettant aux ennemis naturels de se reproduire et/ou de se réfugier
	Couvert végétal	Créer une couverture végétale du sol qui sera bénéfique aux ennemis naturels évoluant au sol, leur proposant une protection physique et microclimatique
Retenir par des ressources trophiques alternatives	Plante banque	Apporter des ressources nutritives animales, autres que les proies habituelles : proie alternative pour les prédateurs ou hôtes alternatifs pour les parasitoïdes
	Plante nourricière	Apporter des ressources nutritives végétales : nectar floral et extra-floral, pollen, fruit, sève
Élever	Plante relais ou réservoir	Élever les ennemis naturels sur des plantes de service qui regroupent les différentes stratégies mentionnées ci-dessus. Conserver ainsi les populations même hors période de culture (site d'hibernation ou élevage en pépinière)
Favoriser les mutualistes	Plantes mycorhizotrophes	Développer le réseau mycorhizien sur la culture en utilisant des plantes mycorhizotrophes, afin d'actionner un ensemble de processus directs et indirects (compétition, induction des défenses naturelles, stimulation d'exsudats racinaires, etc.)

un environnement favorable à leur protection, alimentation et reproduction. Ces plantes permettent aux auxiliaires d'augmenter : 1/ leur durée de vie (et donc de prédation) ; 2/ le nombre d'ovocytes produits et donc le nombre d'œufs pondus ; 3/ la capacité à prospecter ; et 4/ leur capacité à se multiplier dès l'apparition des ravageurs à proximité.

Utilisation

L'enjeu central pour ces plantes de service est leur capacité à conserver/retenir au moins le temps de la culture les ennemis naturels des bioagresseurs. Pour contribuer à cet établissement, ces plantes de service offrent une structure physique favorable et/ou fournissent un apport de ressources nutritives.

Les plantes de service dites à habitat proposent à l'ennemi naturel un abri pour se protéger ou un site de ponte. Par le biais de leur architecture, la mise en place d'un couvert végétal sera bénéfique aux ennemis naturels évoluant au sol, leur proposant ainsi une protection physique et un microclimat adéquat (Balzan et Moonen, 2014a).

Les plantes de service qui apportent des ressources nutritives alternatives variées permettent de fournir l'énergie et la matière nécessaires pour le développement et la reproduction des auxiliaires, améliorant ainsi leur performance et longévité. Les plantes banques apportent des ressources nutritives d'origine animale (proies/hôtes alternatifs, miellat), tandis que les plantes nourricières apportent des ressources nutritives d'origine végétale (pollen, nectar intra- ou extra-floraux, sève, fruit) (Wackers, 2005 ; Lundgren, 2009).

Exemple

Les plantes à domaties possèdent une structure végétale, les domaties, au niveau des aisselles des nervures sur leurs feuilles, et ont la particularité de posséder une forte densité de poils qui permettent aux arthropodes de se cacher ou offrent un site de ponte. Les acarodomaties sont par exemple des domaties occupées par des phytoséeides, une famille d'acariens prédateurs (Walter, 1996 ; Pekas et Wäckers, 2017).

Le puceron, *Aphis gossypii,* attaque les cultures de melon, courgette, concombre et aubergine. Pour attirer et surtout retenir son parasitoïde *Aphidius colemani* sur la culture de rente, l'ajout de la plante banque *Eleusine coracana* permet d'offrir au parasitoïde un hôte de substitution, le puceron *Rhopalosiphum padi* qui n'affecte pas les cultures légumières à protéger (Goude *et al.,* 2017).

Les *Apiaceae* (carotte sauvage, coriandre, fenouil...) semblent être des plantes nourricières particulièrement efficaces grâce à certaines caractéristiques comme la forme de leurs fleurs, le nectar très exposé ou leur très forte attractivité pour de très nombreux insectes (hyménoptères, diptères et coléoptères principalement) (Zhu *et al.,* 2020). Ainsi, l'ajout d'un mélange de plantes de service avec des *Apiaceae* permet d'augmenter l'abondance de plusieurs groupes d'ennemis naturels sur culture de tomates (Balzan et Moonen, 2014a).

À savoir

Dans le cas du couvert végétal, il semble que, peu importe l'espèce de plante utilisée, leur présence suffit à mettre en place un microclimat favorable aux prédateurs du sol (Balzan *et al.*, 2014b).

Concernant les plantes banques et nourricières, la stratégie d'apporter des ressources nutritives animales alternatives s'applique bien dans le cas de prédateurs généralistes omnivores, qui sont capables de persister voire de se reproduire sur des sources de nourriture, type proies

CAROLINE DJIAN-CAPORALINO,
INRAE-PACA (SOPHIA ANTIPOLIS)

> *ERETMOCERUS EREMICUS* PARASITE LES LARVES D'ALEURODES (*TRIALEURODES VAPORARIORUM* ET *BEMISIA TABACI*)

alternatives ou ressources végétales, même en absence de leurs proies habituelles. Il est aussi essentiel de ne pas se limiter à une seule espèce de plante de service introduite dans la culture, afin de diversifier les sources de nourriture et d'habitat pour une diversité d'auxiliaires. De plus, l'apport d'un régime alimentaire varié aux ennemis naturels permet un contrôle plus large des bioagresseurs (Lundgren, 2009).

ÉLEVER LES AUXILIAIRES : LES PLANTES RELAIS OU RÉSERVOIRS

Principe

Les plantes relais ou réservoirs permettent d'élever et de conserver les ennemis naturels même en dehors de la période de culture (Frank, 2010 ; Huang *et al.*, 2011 ; Messelink *et al.*, 2014). Ces plantes sont soit directement présentes dans la culture de rente, offrant des sites d'hibernation aux auxiliaires pour leur permettre de passer l'hiver, soit sont préparées en pot en pépinière et introduites dans la culture au moment opportun. Ces plantes regroupent donc toutes les caractéristiques des plantes précédemment citées. Elles attirent, retiennent via l'habitat et l'apport de ressources alternatives et permettent la mise en place d'un élevage. Actuellement, les plantes relais ou réservoirs sont principalement utilisées sous serre (Messelink *et al.*, 2014).

Utilisation

Ces plantes ont pour but d'être des dispositifs à long terme et à effet préventifs. En effet, la colonisation et la multiplication des auxiliaires nécessitent du temps et peuvent retarder la régulation des bioagresseurs sur la culture. L'avantage ici, est que les ennemis naturels seront déjà présents sur la culture de rente avant même le démarrage de cette dernière, via la mise en place de l'équivalent d'un élevage pouvant prévenir l'attaque de bioagresseurs. Ces plantes permettent aussi le relais des auxiliaires d'une culture à l'autre.

Exemple

Les cultures de tomate sous serre sont régulièrement attaquées par des aleurodes, acariens, pucerons, noctuelles ou encore *Tuta absoluta* et des lâchers de *Macrolophus pygmaeus* permettent de contrôler ces bioagresseurs. Ces lâchers se font généralement au même moment que le début des cultures de tomate, au printemps. Mais souvent, l'installation des auxiliaires sur la culture est trop lente, et les prédateurs ne deviennent efficaces qu'à partir de mi-fin juillet. En cas d'infestation précoce dans la culture, le niveau de protection obtenu peut donc être insuffisant. La situation peut être améliorée par la mise en place, avant même la fin de la culture de tomate précédente, de plants en pots de souci (*Calendula officinalis*) portant des *M. pygmaeus*. Ceci permet au prédateur de protéger efficacement la culture suivante dès l'apparition des bioagresseurs. Pendant la période hivernale, les pots sont regroupés à l'abri (Réseau Dephy Ferme Légumes[12]). Un autre exemple de mise en place d'une stratégie de transfert actif est l'utilisation de bandes annuelles de soucis en serre qui permet une installation plus importante et plus rapide de *M. pygmaeus* sur la culture et une meilleure gestion des aleurodes. La bande fleurie est semée en fin de culture pour accueillir les *Macrolophus* présents et leur servir d'abri pendant la période hivernale, puis à la sortie de l'hiver, les soucis chargés de larves de *Macrolophus* sont arrachés puis replantés dans la nouvelle culture (Lambion, 2017).

À savoir

Pour le maintien durable des auxiliaires dans les cultures et surtout hors période de culture, des ressources trophiques et

> LES AUXILIAIRES DANS UNE PARCELLE COLONISÉE PAR UN RAVAGEUR PEUVENT PERMETTRE DE NIVEAUX DE CONTRÔLE NON NÉGLIGEABLES

un habitat favorable doivent obligatoirement être fournis conjointement sur la durée. L'un sans l'autre entraîne la mort ou la fuite des auxiliaires. Un autre point très important est que l'efficacité des auxiliaires dans le contrôle des bioagresseurs dépend de leur capacité à quitter leur plante ressource. De ce fait, il est nécessaire de suivre leur présence sur la culture de rente, et leur rôle dans la prédation et le parasitisme des bioagresseurs.

Il est donc très important de réfléchir à l'aménagement de ces plantes de service, pour permettre un maintien réellement durable des auxiliaires sur la culture (voir p. 16 et suivantes). Des travaux sont en cours pour optimiser l'aménagement de ces plantes au sein de la parcelle cultivée pour favoriser leur rôle dans le biocontrôle des bioagresseurs (projets Alto[13] et Repulse[14]).

FAVORISER LES INTERACTIONS AVEC LES MICRO-ORGANISMES MUTUALISTES : LE CAS DES PLANTES MYCORHIZOTROPHES

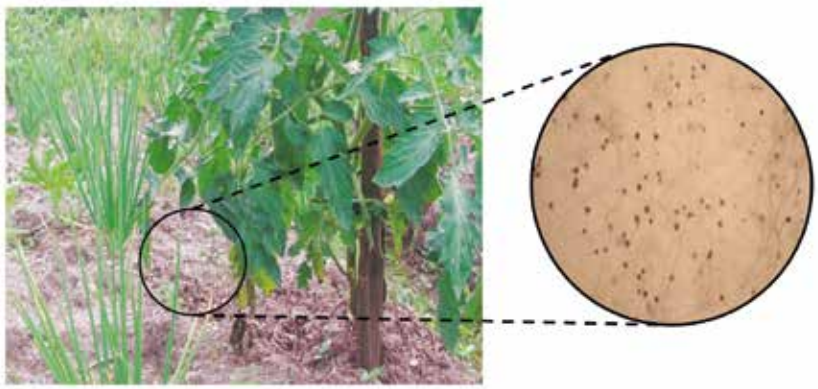
Principe

Les mycorhizes sont des symbioses entre les racines des plantes et certains champignons présents dans la grande majorité des sols. Environ 80 % des plantes cultivées sont concernées (excepté les brassicacées et chénopodiacées). Le groupe de champignons mycorhiziens le plus répandu est celui des Champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA). Les symbioses mycorhiziennes permettent à la plante de multiplier sa surface de contact avec le sol grâce au développement d'un réseau de filaments. En échange, les champignons mycorhiziens peuvent recevoir jusqu'à 10 % des produits de la photosynthèse des plantes hôtes (Leake *et al.*, 2004).

Utilisation

L'utilisation de plantes mycorhizotrophes a pour but de favoriser le développement de réseaux mycorhiziens sur la culture (Figure 5). Les mycorhizes contribuent à la résistance aux attaques de bioagresseurs et donc à la réduction de l'incidence des maladies (nématodes, champignons et bactéries pathogènes, oomycètes) (Veresoglou et Rillig, 2012). Cette contribution se réalise par un ensemble de processus directs (par ex. compétition au sein de la rhizosphère ou de la racine), et indirects (par ex. induction des défenses naturelles des plantes, stimulation d'exsudats racinaires riches en composés de défense, développement d'une microflore antagoniste).

FIGURE 5 : Culture de cives *(Allium fistulosum)* en association avec la tomate *(Lycopersicon esculentum)*



Culture pour favoriser le développement de réseaux mycorhiziens sur la culture et augmenter le contrôle des agents pathogènes du sol (adapté de Chave *et al.*, 2014)

Exemples

Parmi les plantes mycorhizotrophes, des graminées, alliacées, et légumineuses sont utilisées en rotation, afin de maintenir ou d'augmenter les réseaux mycorhiziens du sol, ou en association pour contribuer au développement du réseau mycorhizien entre plantes (Chave *et al.*, 2019). La plante mycorhizotrophe *Crotalaria juncea* favorise la mise en place de réseaux mycorhiziens (Colozzi Filho et Cardoso, 2000), qui contribuent à protéger les racines contre les nématodes (Rodriguez-Heredia *et al.*, 2020) : 1/ en masquant le pouvoir attractif des racines vis-à-vis des nématodes ; 2/ en réduisant leur mobilité et leur pénétration dans les racines et ; 3/ en renforçant la résistance des plantes sensibles, grâce à la facilitation nutritionnelle permise par le réseau mycélien externe ou en élicitant des gènes de défense de la plante (Bagyaraj *et al.*, 1979 ; Vos *et al.*, 2012, 2013).

À savoir

En pratique, les espèces de plantes mycorhizotrophes sont choisies en fonction de : 1/ la disponibilité des semences ; 2/ leur adaptabilité aux conditions climatiques locales du sol ; 3/ leur facilité de culture/rusticité et ; 4/ leur caractère non-hôte aux principaux bioagresseurs de la culture de rente. Pour une bonne utilisation des mycorhizes, il est essentiel d'explorer une diversité de solutions qui permettront à chaque agriculteur d'identifier les mycorhizes présents sur sa culture, d'appliquer des pratiques culturales favorisant ces derniers et de reconfigurer son système de culture (Detrey *et al.*, (2020)[15] réalisés dans le cadre du projet Permabiosol[16]). ■

[12] Réseau Dephy Ferme Légumes : Réseau de démonstration et de production de références, s'appuyant directement sur des exploitations agricoles. Il rassemble 185 groupes d'une dizaine d'agriculteurs environ, animés et accompagnés par des Ingénieurs réseaux (IR). Le but est de contribuer à faire évoluer les pratiques agricoles pour réduire et améliorer l'utilisation des produits phytosanitaires.

[13] Alto : Projet Ecophyto (2018-2023) visant à développer de nouveaux systèmes de production de fruits à très bas intrants, voire sans pesticides, en proposant une démarche interdisciplinaire et multi-acteurs générique.

[14] Repulse : Projet Casdar (2020-2023) labellisé PIClég visant à mettre au point et évaluer des associations de plantes exerçant un effet de répulsion ou de dissuasion vis-à-vis des thrips, des pucerons et des mouches, permettant de limiter le recours aux insecticides de synthèse.

[15] Permabiosol : Projet Olga Triballat (2017-2020) intitulé « Santé environnementale pour une santé humaine : suivi fonctionnel de la Biodiversité du Sol en Permaculture et impact sur la qualité nutritionnelle de la tomate et de la laitue ».

[16] Thèse de J. Detrey (2018-2020) visant à mettre en évidence l'impact des associations de culture (tomate-poireau et tomate-haricot contre monoculture de tomate) sur les populations de micro-organismes.

CAROLINE DJIAN-CAPORALINO,
INRAE-PACA (SOPHIA ANTIPOLIS)

MULTISERVICES, COMBINAISON DE SERVICES, DISSERVICES

VERS DES PLANTES « MULTISERVICES »

Certaines plantes de service peuvent rendre plusieurs types de services à la culture de rente ; elles sont dites multiservices et sont recherchées puisqu'elles remplissent le rôle de plusieurs plantes de service. Les services écosystémiques rendus par les plantes de service en agrosystème sont divers (Zhang *et al.,* 2007) et plusieurs exemples sont proposés ici.

Tout d'abord, les plantes multiservices peuvent être multi-biocontrôle : c'est-à-dire qu'elles permettent de lutter contre plusieurs types de bioagresseurs. C'est le cas par exemple des tagètes aromatiques, qui sécrètent des composés volatils repoussant les pucerons et des exsudats racinaires nématicides. Les plantes mycorhizotrophes ont aussi la capacité d'être multi-biocontrôle : elles aident la plante cultivée à se défendre vis-à-vis d'attaques de nématodes grâce au réseau mycorhizien commun et favorisent l'induction des défenses avant une attaque de pucerons *via* l'utilisation d'un message sémiochimique (Vos *et al.,* 2012, 2013 ; Babikova *et al.,* 2013). Les tagètes étant des plantes mycorhizotrophes, cela permettrait de combiner les services comme étudié dans le projet Multiserv[17].

Les plantes multiservices peuvent aussi apporter des services écosystémiques autres que la régulation des bioagresseurs. Pour reprendre l'exemple des plantes mycorhizotrophes, les mycorhizes peuvent aussi permettre d'améliorer la résistance des plantes aux stress abiotiques, tels que la sécheresse et la salinité, selon la plante de service/plante cultivée/mycorhize utilisée. Les plantes de couverture utilisées en mulch[18] ou paillage de couverture[19], limitent également l'évaporation, selon la période de culture, et contribuent à limiter le stress hydrique des cultures, ce qui peut les rendre plus à même de résister aux attaques de certains bioagresseurs. L'utilisation de plantes assainissantes permet aussi une meilleure fertilisation des cultures. En effet, la décomposition de la matière organique des plantes assainissantes utilisées en biofumigation libère des minéraux qui pourront ensuite être utilisés lors du développement de la culture de rente : on parle alors d'engrais vert[20]. L'utilisation de légumineuses en cultures intermédiaires (cf. paragraphe sur les plantes mycorhizotrophes p. 13) permet aussi une meilleure fertilisation du sol par un apport d'azote, *via* leur fixation symbiotique, ce qui engendre une quantité d'azote minéralisé élevée pour la culture suivante (Sorensen et Thorup-Kristensen, 2003). Par exemple, les espèces de Crotalaires, légumineuses utilisées pour leur effet nématicide, en particulier *Crotalaria juncea* (cf. paragraphe sur les plantes assainissantes p. 9), ont également la capacité d'améliorer l'état azoté du sol (Wang *et al.,* 2006).

Les plantes de service ayant une action sur les auxiliaires (cf. p. 10 et suivantes) peuvent également attirer et retenir des pollinisateurs, remplissant en plus un service de pollinisation. Une hypothèse serait que l'attraction à la fois d'abeilles domestiques et/ou de pollinisateurs sauvages pourrait permettre d'augmenter le rendement de la culture de rente (Balzan *et al.,* 2014b). L'attraction de certains ennemis naturels peut permettre de remplir d'autres services en plus de celui de pollinisation. Par exemple, les plantes mellifères[21] attirent les syrphes qui peuvent avoir une triple action : les larves se nourrissent des pucerons et d'autres espèces d'insectes ravageurs, les adultes participent à la pollinisation et la combinaison de ces deux actions augmente le rendement dans les productions de fraise (Hodgkiss *et al.,* 2018 ; Abrol *et al.,* 2019). Les plantes de service favorisant les auxiliaires sont aussi, pour certaines d'entre elles, intéressantes vis-à-vis de la gestion de l'enherbement. Les travaux du Grab dans le cadre du projet PlacoHB[22] montrent ainsi l'intérêt de l'achillée millefeuille *(Achillea millefolium)* qui favorise de nombreux auxiliaires contre les pucerons et, par sa couverture rapide du sol, limite fortement les charges de désherbage. Ces services rendus permettent alors de faciliter le travail de l'agriculteur.

COMBINAISON DE SERVICES : « PUSH-PULL »

Il peut y avoir un intérêt à combiner les effets de plusieurs types de plantes de service,

[17] Multiserv : Projet métaprogramme Inrae SUMCrop (2020-2022) « Des plantes de service pour la régulation des bioagresseurs dans les systèmes horticoles : freins et leviers, méthodologie d'expérimentation, services et disservices (et processus sous-jacents) ».

[18] Le mulch regroupe toute couverture du sol essentiellement destinée à protéger le sol, réguler sa température, ralentir l'évaporation de l'eau et limiter les adventices. Les matériaux utilisés peuvent être de type organique, minéral ou industriel.

[19] Le paillage est une pratique de mulch, utilisant de la paille ou du paillage plastique.

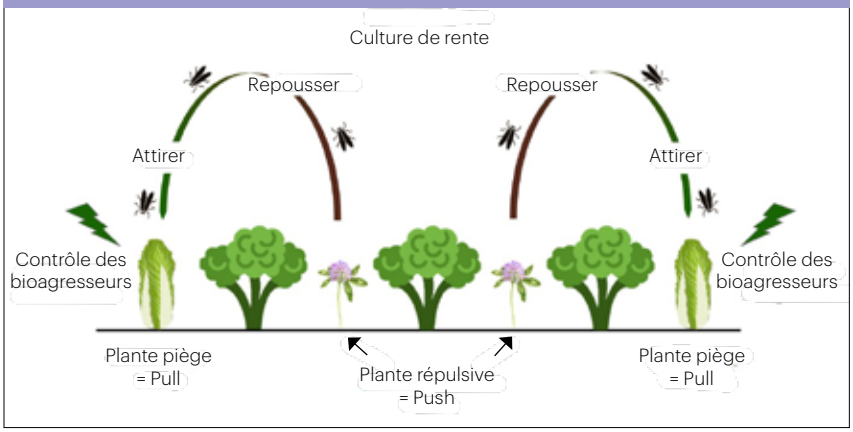
[20] Un engrais vert est une plante qui va enrichir le sol en matière organique et donc en éléments nutritifs dont l'azote, ce qui va améliorer l'activité du sol.

[21] Les plantes mellifères sont des plantes riches en pollen et nectar (généralement floral), permettant la production de miel par les abeilles.

[22] PlacoHB : Projet Casdar-Ecophyto (2017-2019) visant à développer de nouvelles solutions alternatives complémentaires aux existantes basées sur l'enherbement de certaines zones encore difficilement gérées.

afin d'améliorer le niveau de contrôle d'un ou de plusieurs bioagresseurs. Un exemple est la stratégie « push-pull ». Cette stratégie résulte de l'utilisation simultanée de deux types de plantes de service : les plantes répulsives (push) et les plantes pièges (pull) (Cook *et al.*, 2007). L'objectif est de repousser les insectes ravageurs d'une culture cible (composante « push »), tout en les attirant vers une plante piège (composante « pull ») où ils pourront être contrôlés par différents mécanismes (broyage, bâchage, effet « cul-de-sac », régulation naturelle...). La composante « push » est positionnée dans la culture à protéger tandis que la composante « pull » est généralement située en bordure. À ce jour, la stratégie « push-pull » a déjà fait ses preuves sur grandes cultures (notamment sur maïs en Afrique : Pickett *et al.*, 2014) mais il existe encore très peu d'études sur son application en culture légumière, hormis l'exemple sur culture de brocolis schématisé en figure 6.

FIGURE 6 : Schéma explicatif de la stratégie push-pull (adaptée de Björkman et Meadow, 2020 ; Lamy *et al.*, 2018)



Les plantes de culture sont des brocolis, les plantes répulsives sont des trèfles sauvages, et les plantes pièges sont des choux chinois. Cette utilisation de la stratégie « push-pull » permet de diminuer le nombre d'attaques d'insectes bioagresseurs sur culture de brocolis

RISQUES DE DISSERVICES

Les plantes de service peuvent aussi avoir des impacts négatifs sur la culture de rente en cours ou sur les autres cultures de la rotation.

L'ajout de plantes de service dans un système de culture peut diminuer la surface allouée à la culture de rente et/ou entraîner une compétition pour les ressources et diminuer le rendement (Letourneau *et al.*, 2011). Ce disservice peut en particulier poser problème dans les systèmes de serres, où le maximum de surface doit être utilisé pour la plante cultivée. Une solution pourrait être de diversifier la végétation à l'extérieur des parcelles. En effet, la présence naturelle d'auxiliaires sous abris (serre, mutichapelle et tunnel) peut être fortement dépendante de l'environnement entourant les abris. Des plantes de service déployées à l'extérieur et autour des serres peuvent contribuer à la régulation des ravageurs à l'intérieur des serres (Messelink *et al.*, 2014).

Par ailleurs, l'association des plantes de service à la culture de rente augmente la biodiversité dans l'agrosystème et peut favoriser la présence et le développement d'autres ravageurs ou maladies. Ainsi par exemple, dans le cas du projet Prabiotel[23], il a été montré que l'utilisation de Brassicacées en tant que biofumigant pouvait multiplier les bioagresseurs aériens pendant l'interculture. Les tagètes perturbent le comportement alimentaire du puceron, *Myzus persicae* (Dardouri *et al.*, 2019,a). Ceci engendre une activité de prospection plus importante avant que le puceron choisisse la plante sur laquelle il s'installera. Cela s'accompagne d'une augmentation du nombre de piqûres d'essai effectuées par le puceron et une réduction de la durée d'alimentation dans le phloème. Par ailleurs, les tagètes peuvent également attirer d'autres ravageurs comme les limaces (Capinera, 2020). La sensibilité aux bioagresseurs est un critère important à prendre en compte pour la sélection des plantes de service. Par exemple, en melon de plein champ, la conception de bandes fleuries adaptées au service de régulation biologique a nécessité au préalable une sélection très stricte des espèces à mettre en mélange afin de s'assurer qu'elles étaient non-hôtes pour les pucerons et les virus qui infestent le melon. Le but est d'éviter tout risque de création de foyers d'inoculum à proximité de la culture (Schoeny *et al.*, 2019).

Cependant dans le cadre d'une méta-analyse (Letourneau *et al.*, 2011) ont montré que même si on observe une augmentation des bioagresseurs avec l'augmentation de la diversité végétale, on observe en parallèle une augmentation des ennemis naturels. De ce fait dans certains cas et si les conditions biotiques sont réunies, il peut y avoir une régulation de la densité des bioagresseurs, entraînant moins de dégâts et un rendement équivalent à une culture conventionnelle. L'importance relative de ces bénéfices/risques doit donc être évaluée. Alors que certaines études identifient parfois des effets négatifs connexes (réduction de la surface de culture de la plante hôte, compétition pour les ressources entre la plante cultivée et la plante de service, attraction d'autres ravageurs, risque d'être sensible aux pathogènes des cultures ou de permettre le maintien du potentiel infectieux du sol...), le recours à une plante de service est trop souvent préconisé après avoir évalué son effet sur les traits de vie d'un seul ravageur, sans considérer l'impact global sur la biodiversité environnante, la production ou l'état sanitaire général de la culture de rente. De plus, les éléments de coût sont également à prendre en compte. Il est donc essentiel de prendre le temps de sélectionner des plantes de service dans un contexte donné et d'appliquer de bonnes pratiques culturales pour minimiser le risque de disservice sur la culture de rente. Ces pratiques sont détaillées dans les paragraphes suivants. ■

[23] **Prabiotel : Projet Casdar (2009-2011) labellisé PIClég visant à proposer aux producteurs de légumes des solutions techniques pour une meilleure maîtrise des bioagresseurs telluriques, en limitant le recours aux produits phytosanitaires chimiques.**

CAROLINE DJIAN-CAPORALINO,
INRAE-PACA (SOPHIA ANTIPOLIS)

PRATIQUES CULTURALES ASSOCIÉES AUX PLANTES DE SERVICE

Dans le but d'optimiser le service de régulation des bioagresseurs (et autres services potentiels additionnels) des plantes de service citées tout au long de ce hors-série et de minimiser les disservices, il est essentiel de choisir une/des plante(s) de service adaptée(s) au contexte et de mettre en place un aménagement optimal du système plante de service/plante cultivée sur la parcelle.

CHOISIR LA(LES) PLANTE DE SERVICES ADAPTÉE(S) AU CONTEXTE

Tout d'abord, il est important de savoir contre quel(s) bioagresseur(s) la plante de service doit être utilisée et comment elle doit être mise en œuvre. Cet objectif, ainsi que le type de culture et la période de l'année, vont déterminer le choix des plantes de service utilisées, et surtout de leur variété. En effet, entre différentes variétés d'une même espèce, on peut observer une grande variabilité en termes de caractéristiques agronomiques : chaque variété peut avoir un effet distinct sur le ou les bioagresseur(s) donné(s) et sur la culture de rente. Le but est d'identifier les mécanismes sous-jacents à la stratégie de la plante de service pour maximiser son utilisation.

La réussite d'une plante de service passe aussi par la qualité de sa semence, ses caractéristiques intrinsèques et ses caractéristiques vis-à-vis du milieu : il est essentiel d'avoir une plante de service de bonne qualité capable de s'adapter à l'environnement abiotique présent sur la parcelle. À noter qu'il est nécessaire de privilégier l'utilisation de plantes indigènes et d'éviter d'importer une plante exotique au risque qu'elle ne devienne une espèce envahissante, et qui pourrait également entraîner l'introduction d'agent pathogène ou de ravageur de quarantaine sur le territoire.

Dans le cas des plantes de service qui ont une action sur les auxiliaires, il est plus utile d'identifier des plantes qui sont à la fois capables d'attirer l'auxiliaire, de lui fournir un habitat et des ressources alternatives et enfin de pouvoir l'élever, plutôt que de choisir des espèces qui ne sont efficientes que sur un seul de ces aspects. Les plantes relais ou réservoirs qui regroupent toutes ces qualités sont donc à privilégier. Landis *et al.,* 2000 suggèrent de mettre en place une diversification d'espèces végétales dans l'agrosystème, le but étant de multiplier les stratégies et donc d'augmenter les possibilités de protection contre des bioagresseurs divers et variés.

Le choix de la ou des espèces de plantes de service dans un contexte donné est donc primordial. Il est également important d'identifier les caractéristiques des plantes de service qui font d'elles des plantes de service. Des approches expérimentales et/ou bibliographiques devraient permettre d'identifier et de caractériser ces traits pour décrire les espèces de services les plus efficientes. C'est dans ce contexte que le projet Crea[24] se coordonne pour monter une base de données des plantes de biocontrôle (BP-DB pour *Biocontrol Plant-Database*) qui sera consultable librement et permettra d'identifier dans un contexte donné (cultural et géographique) quelles sont les plantes de biocontrôle suggérées pour se protéger contre un ou des ravageurs en particulier et quels services écosystémiques additionnels elles sont susceptibles d'apporter.

> LA CULTURE ASSOCIÉE CHOU-TRÈFLE PERMET DE RÉDUIRE LES PONTES DE MOUCHE DU CHOU

AMÉNAGEMENT DU SYSTÈME PLANTE CULTIVÉE-PLANTES DE SERVICE

Vient ensuite le choix de l'aménagement des plantes de service au sein de la culture de rente. En effet, l'agencement des plantes de service au sein de l'agrosystème peut être varié dans l'espace et dans le temps (Letourneau *et al.,* 2011).

AMÉNAGEMENT DANS L'ESPACE

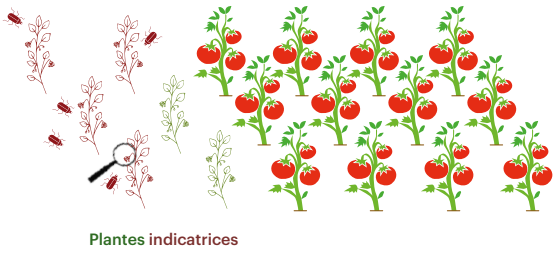
L'aménagement dans l'espace consiste à positionner les plantes de service par rapport à la culture de rente. Elles peuvent être donc implantées au sein de l'agrosystème,

[24] **Crea : Projet Métaprogramme SUMCrop Inrae visant à optimiser et promouvoir l'utilisation des plantes de services dans les agrosystèmes (2020-2022).**

comme les plantations interrangs (= intercropping) qui vise à élever sur la même parcelle la plante cultivée avec la plante de service, soit dans la même rangée, soit en rangées ou bandes proches. Elles peuvent aussi être placées autour de l'agrosystème, telles que : 1/ les bandes enherbées qui sont des bandes végétales denses et permanentes établies le long ☞

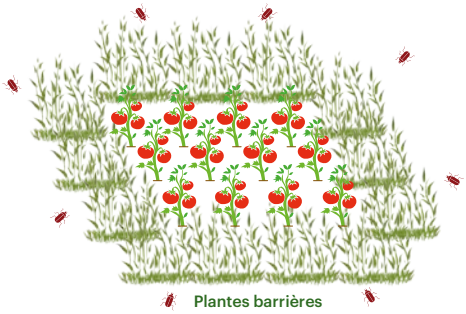
FIGURE 7 : Différents types de pratiques culturales associant les plantes de service et la culture de rente

a. Pratique culturale en association, adaptée aux plantes indicatrices



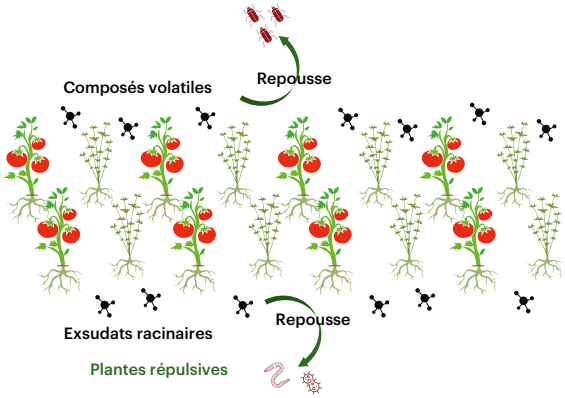
Les tomates représentent la culture de rente. La présence d'attaques sur les plantes indicatrices facilite la détection précoce des bioagresseurs sur la culture de rente et permet d'agir en conséquence.

b. Pratique culturale en association, adaptée aux plantes barrières



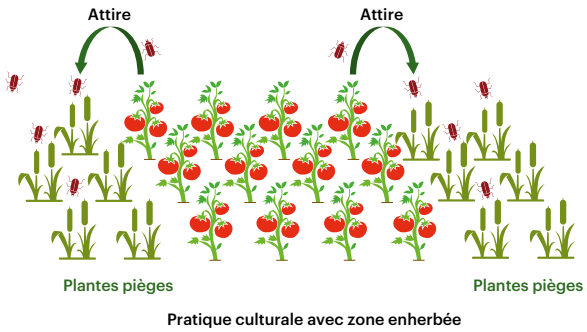
Les plantes barrières sont positionnées autour de la culture de tomates, dans le but de contrer les passages des bioagresseurs aériens (en rouge).

c. Pratique culturale en association, adaptée aux plantes répulsives



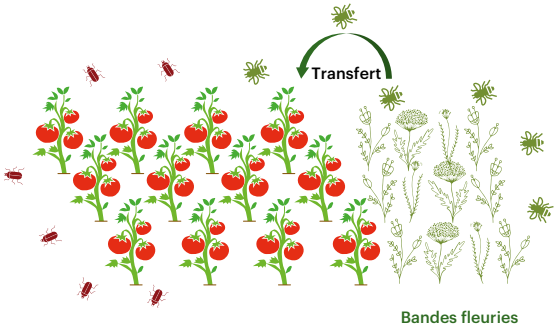
Les plantes vertes représentent les plantes répulsives.
Elles repoussent les bioagresseurs via les composés qu'elles sécrètent.

d. Pratique culturale en association, adaptée aux plantes pièges



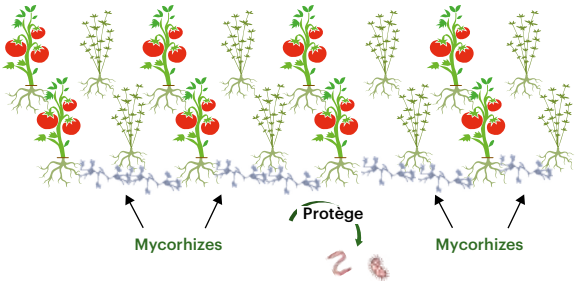
Les plantes de couleur verte représentent les plantes pièges qui attirent et piègent des bioagresseurs aériens.

e. Pratique culturale en association, adaptée aux plantes attractives et multiplicatrices d'auxiliaires



Les plantes vertes représentent les plantes de service offrant des conditions propices au développement d'ennemis naturels (en vert) contre les bioagresseurs (en rouge) et permettant leur transfert sur la culture de rente infestée.

f. Pratique culturale en association adaptée, aux plantes de service mycorhizotrophes



Les plantes mycorhizotrophes en vert et les mycorhizes en bleu permettent à la culture de rente de mieux résister aux attaques de bioagresseurs.

CAROLINE DJIAN-CAPORALINO,
INRAE-PACA (SOPHIA ANTIPOLIS)

d'un ou de plusieurs côtés d'une parcelle ou 2/ les bandes fleuries qui sont un mélange d'espèces à floraison étalée permettant à la fois d'attirer les ennemis naturels, de leur offrir un habitat et des ressources alternatives voir de les élever du fait des formes, couleurs et odeurs des plantes constituant la bande fleurie (Schoeny *et al.*, 2019). Les schémas de la figure 7 répertorient quelques exemples d'aménagements culturaux dans l'espace applicables en fonction des différentes stratégies évoquées au cours de ce hors-série.

AMÉNAGEMENT DANS LE TEMPS

L'aménagement dans le temps vise à organiser la mise en place temporelle des plantes de service par rapport à la culture de rente, et est directement lié à l'aménagement dans l'espace. En effet, il est nécessaire de définir à quel moment, au cours de la culture, le producteur doit faire intervenir les plantes de service et à quel stade phénologique de la plante cultivée. Il peut le faire en cours de culture, c'est-à-dire en association, ou avant/après la culture principale, c'est-à-dire en interculture qui représente l'espace de temps qui sépare la récolte d'une culture du semis de la culture suivante (Figure 8) ou en rotation culturale qui est une succession de différentes cultures sur une même parcelle.

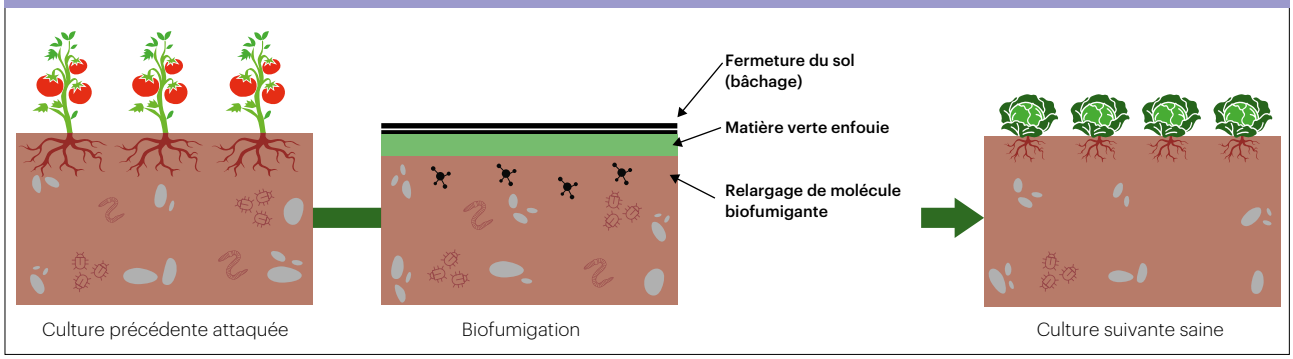
Un exemple majeur de plante de service appliquée en rotation culturale est le sorgho qui a été utilisé pendant longtemps comme engrais vert, puis pour lequel a été découvert un puissant effet nématicide. Dans le cadre du projet GeDuNem[6], deux espèces de sorgho ont été testées en serre de tomate et de piment : Sudan grass variété « Piper » et l'hybride Sorgho x Sudan grass variété « 270911 ». Avec enfouissement, une forte diminution de l'abondance des nématodes à galles dans le sol est observée : de 95 % par rapport au taux initial en 2012 et de 73 % à 82 % après semis de « Piper » ou « 270911 » en 2014. Par la suite, ces populations sont restées faibles, en dessous du taux initial, après des cultures d'hiver pourtant très sensibles (blette ou laitue) (Djian-Caporalino *et al.*, 2019a ; Goillon *et al.*, 2016). Cet effet s'est révélé plus durable lorsque les communautés de nématodes phytoparasites (saprophages utiles à la vie biologique du sol) étaient abondantes et diversifiées (Mateille *et al.*, 2020), celles-ci étant justement entretenues par les plantes de service.

Un autre exemple de pratique culturale en rotation est le cas de l'utilisation du radis fourrager pour les dégâts de fusariose sur culture de melon. Dans le cadre du projet Vasculeg, des recherches ont été menées pour déterminer l'intérêt de la mise en place de différentes intercultures (radis fourrager, vesce commune, vesce velue, et mélange vesce velue et avoine) sur la réduction des dégâts de fusariose (*Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*) sur la culture de melon suivante (Villeuneuve *et al.*, 2016). L'étude a souligné un intérêt du radis fourrager pour limiter les dégâts de fusariose. Toutefois, les résultats pouvaient être variables et on pouvait également noter une légère efficacité des couverts végétaux « vesce » et « vesce/avoine ».

La variabilité de l'efficacité des techniques de rotation assainissantes pourrait s'expliquer par des problèmes de levée de l'interculture, puisque l'efficacité semble dépendre de la biomasse produite et du stade. De plus, il est nécessaire de correctement gérer l'installation de la plante de service assainissante afin d'avoir la meilleure adéquation entre biomasse et efficacité.

Pour choisir l'agencement le plus propice aux conditions biotiques et abiotiques présentes sur la parcelle cultivée et éviter les disservices, il est donc essentiel de tester au préalable différents agencements des plantes de service sur la culture de rente. Le but est de maximiser les caractéristiques qui font d'elle une bonne plante de service, sans impacter le rendement de la culture. Par exemple, dans le cadre du projet Repulse[14], ces agencements sont caractérisés par des mesures réalisées sur les composés volatils, afin d'identifier le paysage olfactif et son efficacité sur les ravageurs selon les agencements proposés. Une fois l'agencement choisi, il est nécessaire de faire intervenir au bon moment la plante de service sur la culture de rente pour que le service de régulation des ravageurs coïncide avec la phénologie du ravageur. Par exemple, l'œillet d'inde limite le développement des colonies de pucerons mais cette plante n'a pas d'effet au stade végétatif (Ben Issa *et al.*, 2016 ; Dardouri *et al.*, 2019,b). Il faut aussi favoriser l'implantation et le développement de la plante de service, une fois celle-ci présente dans la culture, *via* une bonne irrigation, fertilisation, désherbage, protection. Il faut également prévoir une régulation du couvert, et éventuellement sa destruction, dans le cas de plantes de coupure. Si on ne veille pas suffisamment à l'état des plantes de service, le service qu'elles vont rendre sera plus faible, voire entraînera un impact négatif (disservice) sur la culture. Une alternative à l'utilisation directe des plantes de service et permettant une simplification de leur utilisation serait de les remplacer par des substituts mimant leur action. Cette pratique est détaillée dans l'encadré sur les substituts. ■

FIGURE 8 : Pratique culturale en rotation adaptée aux plantes assainissantes par biofumigation



Ce schéma représente la technique de biofumigation effectuée entre deux cultures dans le but de diminuer les populations de bioagresseurs telluriques

CAROLINE DJIAN-CAPORALINO,
INRAE-PACA (SOPHIA ANTIPOLIS)

PLANTES DE SERVICE : MÉTHODE INNOVANTE ET ALTERNATIVE

Les plantes de service représentent une méthode innovante et alternative pour répondre à la transition agroécologique actuelle visant à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires. *Via* une diversité de stratégies, les plantes de service offrent un réel contrôle direct ou indirect des principaux bioagresseurs des cultures légumières. Cependant, l'importance du choix de l'espèce de plante de service et de sa variété est cruciale : chaque variété peut présenter des capacités de service très différentes. Il est de plus nécessaire d'optimiser le développement et l'agencement de la plante de service sur la parcelle cultivée pour optimiser son service, voir les multiservices qu'elle peut rendre et minimiser les disservices. Même si la mise en place de cette stratégie alternative face aux bioagresseurs peut être délicate, elle pourra à terme diminuer les intrants de synthèse dans la culture, et donc les impacts sur l'environnement et la santé des êtres vivants et notamment la santé humaine. Il est à noter que l'utilisation des plantes de service permet d'augmenter la biodiversité végétale sur une parcelle, ce qui entraîne un effet sur la conservation des arthropodes, en proposant des habitats et des ressources nutritives qui manquent en monoculture. De ce fait, les services apportés touchent aussi la conservation de l'environnement naturel et donc la préservation du patrimoine naturel (Balzan *et al.*, 2014b).

Il existe très peu de données décrivant le niveau d'utilisation des plantes de service à l'échelle nationale, européenne et mondiale. Il est à noter que la France a été l'une des pionnières à utiliser les plantes de service dans les années 1970. En région Paca par exemple, M. Audier, directeur de la pépinière Cereprim, fut l'un des premiers pépiniéristes maraîchers à mettre en place les principes de lutte biologique dans son exploitation en utilisant des plantes de service, ceci en collaboration avec les chercheurs de l'Inra d'Antibes et la chambre d'agriculture des Alpes-Maritimes. Son but était tout d'abord de multiplier des auxiliaires parasitoïdes d'aleurodes tels que *Encarsia formosa*, sur plants de tabac et Lantana, et des acariens prédateurs d'acariens tels que *Phytoseilus persimilis* sur haricots. Plus tard, il élevait des syrphes du genre *Sphaerophoria* sur fleurs à pétales plates (crucifères type roquette) pour se protéger contre les pucerons, et il élève encore des *Macrolophus pygmaeus* sur tagètes, plantes qu'il utilise aussi pour leur effet nématicide. Actuellement, le recours aux plantes de service en France se rencontre essentiellement sur des exploitations « tout biologique », ou de manière spontanée et/ou occasionnelle chez certains agriculteurs rencontrant des problèmes face à certains types de bioagresseurs ou utilisant cette technique en complément de la protection biologique sous abris. La disparition accélérée de plusieurs substances pivots de la protection phytosanitaire face aux ravageurs aériens et bioagresseurs telluriques notamment amène à reconcevoir les agrosystèmes légumiers. L'insertion de plantes de service dans les nouveaux itinéraires techniques, comme toute alternative déjà adoptée, devra faire l'objet d'études technico-économiques pour arriver aux meilleurs équilibres coûts/bénéfices apportés pour le producteur et au-delà pour la filière légumes (en termes économique, d'image et de valorisation) dans un marché qui reste concurrentiel.

Les plantes de service représentent aussi une voie d'avenir pour les zones tropicales et subtropicales soumises en permanence aux cycles des bioagresseurs pour protéger les cultures mais aussi pour augmenter les rendements, d'autant plus qu'un certain nombre de plantes de service couramment utilisées proviennent de ces pays. À l'échelle mondiale, si nombre de ces pratiques agroécologiques à fort potentiel ne sont pas encore largement appliquées, elles représentent cependant un attrait particulier face à la transition écologique.

Concernant, l'utilisation des plantes dans d'autres filières que légumière, il existe là aussi très peu d'études, et encore moins d'études comparatives entre les différentes filières. En grandes cultures, arboriculture et viticulture, c'est principalement le type d'aménagement qui va différer : chaque culture ne présentant pas les mêmes contraintes, les plantes de service ne vont pas être appliquées de manière semblable, même si la stratégie

UTILISATION DE SUBSTITUTS POUR MIMER L'ACTION DES PLANTES DE SERVICE

L'utilisation des plantes de service nécessite de la place et des ressources avec parfois des effets négatifs sur la culture (cf. p. 15). Pour limiter ces effets négatifs, tout en conservant les effets positifs des plantes de service, l'idée est de substituer les plantes de service par d'autres types de matériaux mimant leur effet (Messelink *et al.*, 2014 ; Beltrà, 2017 ; Projet Hab'alim[25]). Ainsi par exemple, dans le cas de la protection des cultures de brassicacées légumières contre la mouche du chou, des composés attractifs placés dans des diffuseurs peuvent être positionnés en tant que composante « pull » dans le cadre de la stratégie « push-pull », pour renforcer son attractivité (Kergunteuil *et al.*, 2012). Cela permet de limiter la surface occupée par la composante « pull ». Des granulés biofumigants (pallets BioFence, granulés Herbie) à base de Brassicaceae sont commercialisés en Italie et en Hollande pour se protéger contre les nématodes (Lazzeri *et al.*, 2004 ; Chelleni *et al.*, 1997). Il est possible également de renforcer l'action des ennemis naturels en vaporisant du saccharose sur la culture ; en apportant artificiellement du pollen ; en ajoutant des fibres de coton qui peuvent faire office d'acarodomaties pour les phytoséides ; en apportant des diètes artificielles, ou des œufs stérilisés lors d'absences de proies.

[25] **Hab'alim : Projet Casdar et VAL'HOR (2020-2023) visant à étudier un nouveau concept de lutte biologique par augmentation et diversification des auxiliaires, basé sur le principe « nourrir plutôt que lâcher », par apport direct de nourriture complémentaire ou par la mise en œuvre de plantes de service produisant du pollen.**

est identique. En grandes cultures, l'utilisation des plantes de service se fait principalement en intercropping et rotations culturales avec des légumineuses pour permettre de fertiliser le sol en azote (Verret *et al.,* 2017). Les espèces couramment utilisées sont notamment le trèfle, la vesce, la luzerne et le mélilot. La stratégie « push-pull » est également appliquée en grandes cultures (lire paragraphe « push-pull »), principalement en Afrique (Hassanali *et al.,* 2008). En arboriculture l'utilisation des bandes fleuries est très courante, permettant de favoriser les ennemis naturels des prédateurs sur la parcelle et d'attirer aussi les pollinisateurs (Simon *et al.,* 2010). De même en viticulture, on retrouve la mise en place de plantes favorisant les auxiliaires comme le sarrasin et les bandes fleuries (Berndt *et al.,* 2006). Sur ces deux types de cultures, les couverts végétaux sont aussi très souvent appliqués, favorisant la présence des auxiliaires et apportant une praticité non négligeable pour l'agriculteur en réduisant le recours au désherbage (Simon *et al.,* 2010 ; Burgio *et al.,* 2016). Il serait donc utile de regrouper les connaissances disponibles au niveau national et mondial concernant les plantes de service sur l'ensemble des cultures (légumières, arboriculture, vigne, grandes cultures), afin d'identifier les « trous de connaissance » et mettre en place de futurs projets visant à mieux connaître leurs modes d'action, conseiller les pratiques à suivre et promouvoir ainsi leur utilisation. Les projets français en cours, Crea[24] et Multiserv[17], ont cet objectif. Les départements d'Outre-Mer sont aussi très impliqués dans ces recherches, d'où la création des Ritas. Les Ritas [Réseaux d'innovation et de transfert agricole dans les Départements d'outre-mer (DOM)] ont été mis en place fin 2011 et visent à accompagner le développement local des productions de diversification animale et végétale dans les Départements d'outre-mer (DOM). L'objectif des RITAs est de co-construire et de réaliser des actions de recherche et développement, d'expérimentation, de démonstration et de transfert en réponse aux besoins exprimés localement par les professionnels de l'agriculture. Dans le cadre de ce projet, des travaux ont été menés sur la thématique des plantes de service dans les DOM (liens dans les références bibliographiques). Toujours dans le but de faciliter l'utilisation de ces techniques, il est aussi essentiel d'offrir une offre professionnalisée plus large sur le marché. Le but est à terme de mettre en place une filière solide de production et d'approvisionnement de semences de plantes de service (voire de plants en pots) avec des caractéristiques bien définies et garanties. Pour cela, il est utile de mettre en place une caractérisation systématique de différentes variétés et de réaliser de l'amélioration variétale pour amplifier la capacité de service de certaines espèces (par exemple, la production de composés du métabolisme secondaire impliqués dans un effet répulsif ou toxique pour les bioagresseurs ou un effet attractif pour les auxiliaires). ■

FUTURS DÉVELOPPEMENTS

– Un ouvrage aux éditions Quae plus complet est en préparation visant à apporter plus d'informations et de détails concernant les plantes de service. La rédaction de cet ouvrage commencera en 2021 et il devrait paraître courant 2022.
– Une base de données sur les plantes de service permettant de réguler les ravageurs (BP-DB pour *Biocontrol Plant-Database*) est actuellement en préparation dans le cadre du projet Crea[24]. Consultable librement, elle permettra d'identifier quelles sont les plantes de biocontrôle les plus adaptées pour lutter contre un ou des ravageurs, en fonction des conditions culturale et géographique.
– En parallèle, le Gnis développe actuellement deux outils d'aide à la décision sous forme de réglettes qui permettront aux agriculteurs et aux techniciens de raisonner le choix des espèces pour les cultures intermédiaires et les cultures dérobées à vocation fourragère.

© F. Lamy

> EXEMPLE D'EXPÉRIMENTATION PUSH-PULL POUR CONTRÔLER LA MOUCHE DU CHOU SUR BROCOLI

REMERCIEMENTS

GIS PIClég, Légumes de France, projet Crea et Plateforme de Microscopie de l'UMR Inrae/UNS/CNRS ISA (Institut Sophia Agrobiotech) de Sophia Antipolis.

INFOS-CTIFL est édité par le CTIFL (Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes créé par arrêté du 24 septembre 1952 de la loi du 22 juillet 1948)

Adresse : 97 boulevard Pereire, 75017 Paris
Tél. 01 87 76 04 00
Site internet : www.ctifl.fr
Directeur de la publication : Louis Orenga
Rédacteur en chef : Jean-François Bloch-Berthié
email : jean-francois.bloch-berthie@ctifl.fr
Comité de rédaction : Anne-Laure Levet, Bethsabée Gleizer, Catherine Lagrue, Yann Bintein, Marc Delporte, Philippe Husson, Jean-Marc Goachet
Mise en page : Frédéric Bourcet
Responsable des abonnements : Véronique Bara
email : abonnement@ctifl.fr
Abonnements : Prix 2021 pour 10 numéros/an ; France - 94 € - Étranger - 141 € ; Prix du numéro 13 €
N° de commission paritaire en cours : Dépôt légal à parution - ISSN 0758-5373

Impression : Chirat - 744 rue de Sainte Colombe, 42540 Saint-Just-La-Pendue
Photo de couverture : Inrae

Reproduction partielle ou intégrale autorisée sous réserve de mentionner la source.
Les données à caractère personnel recueillies sont destinées au CTIFL qui, à défaut d'opposition de votre part, est autorisé à les conserver en mémoire informatique et à les utiliser à des fins de statistiques et d'information en version anonyme. Les informations personnelles collectées sont confidentielles et ne sont en aucun cas confiées à des tiers.
Conformément à la loi 78-17 du 6 janvier 1978 (modifiée par la loi 2004-801 du 6 août 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel) relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, ce traitement est inscrit au registre des traitements du CTIFL. D'après ce même texte, vous disposez d'un droit d'accès, de modification et de rectification et de suppression des données qui vous concernent. Vous pouvez exercer ce droit en adressant, sur justificatif de votre identité, votre demande au délégué à la protection des données du CTIFL, par courrier postal au 97 boulevard Pereire 75017 Paris, ou électronique à dpd@ctifl.fr.

BIBLIOGRAPHIE

Abrol, D. P., Gorka, A. K., Ansari, M. J., Al-Ghamdi, A., and Al-Kahtani, S. (2019). Impact of insect pollinators on yield and fruit quality of strawberry. Saudi Journal of Biological Sciences, *26(3), p. 524-530.*

Allen, W. R. and Matteoni, J. A. (1991). Petunia as an indicator plant for use by growers to monitor for thrips carrying the tomato spotted wilt virus in greenhouses. Plant Disease, *75(1), p. 78-82.*

Anandam, R.J., Doraiswamy, S. (2002). Role of barrier crops in reducing the incidence of mosaic disease in chilli. J. Plant Dis. Prot. *109, p. 109-112.*

Babikova, Z., Gilbert, L., Bruce, T.J.A., Birkett, M., Caulfield, J.C., Woodcock, C., Pickett, J.A., and Johnson, D. (2013). Underground signals carried through common mycelial networks warn neighbouring plants of aphid attack. Ecology Letters *16, p. 835-843.*

Back, A.M., Cortada, L., Grove, I.G., Taylor V. (2018). Field management and control strategies. In R.N. Perry, M., Moens, and J.T. Jones (Eds) Cysts Nematodes. *CAB International, Oxfordshire, UK, p. 305-336.*

*Badenes-perez, F.R., Shelton, A.M., and Nault, B.A. (2005). Using Yellow Rocket as a Trap Crop for Diamondback Moth (*Lepidoptera: Plutellidae*).* J Econ Entomol *98, p. 884-890.*

Bagyaraj, D.J., Manjunath, A., and Reddy, D.D.R. (1979). Interaction of vesicular arbuscular mycorrhiza with root knot nematodes in tomato. Plant Soil *51, p. 397-403.*

Bais, H.P., Weir, T.L., Perry, L.G., Gilroy, S., and Vivanco, J.M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. Annual Reviews of Plant Biology *57: p. 233-266.*

Baldwin, I.T. (2010). Plant volatiles. Current Biology *20, R392-R397.*

Balzan, M.V., and Moonen, A.-C. (2014, a). Field margin vegetation enhances biological control and crop damage suppression from multiple pests in organic tomato fields. Entomologia Experimentalis *et* Applicata *150, p. 45-65.*

Balzan, M.V., Bocci, G., and Moonen, A.-C. (2014, b). Augmenting flower trait diversity in wildflower strips to optimise the conservation of arthropod functional groups for multiple agroecosystem services. J Insect Conserv *18, p. 713-728.*

*Batista, M.C., Fonseca, M.C.M, Teodoro, A.V., Martins, E.F., Pallini, A., Venzon, M. (2017). Basil (*Ocimum basilicum *L.) attracts and benefits the green lacewing* Ceraeochrysa cubana *Hagen.* Biological Control *110, p. 98-106.*

Beltrà, A., Calabuig, A., Navarro-Campos, C., José Ramírez-Soria, M., Soto, A., Garcia-Marí, F., Wäckers, F.L., and Pekas, A. (2017). Provisioning of food supplements enhances the conservation of phytoseiid mites in citrus. Biological Control *115, p. 18-22.*

Ben Issa, R., Gautier, H., Costagliola, G.,Gomez, L. (2016). Which companion plants affect the performance of green peach aphid on host plants? Testing of 12 candidate plants under laboratory conditions. Entomologia Experimentalis *et Applicata, 160 (2), p. 164-178.*

Ben Issa, R., Gautier, H., Gomez, L. (2017). Influence of neighbouring companion plants on the performance of aphid populations on sweet pepper plants under greenhouse conditions. Agricultural and Forest Entomology *(2017), 19, p. 181-191*

Berlinger, M.J., Lok-Van Dijk, B., Dahan, R., Lebiush-Mordechai, S., and Taylor, R. a. J. (1996). Indicator Plants for Monitoring Pest Population Growth. Ann Entomol Soc Am *89, p. 611-622.*

*Berndt, L.A., Wratten, S.D., and Scarratt, S.L. (2006). The influence of floral resource subsidies on parasitism rates of leafrollers (*Lepidoptera: Tortricidae*) in New Zealand vineyards.* Biological Control *37, p. 50-55.*

Björkman, M. et Meadow, R. (2020). Developing a push-pull-kill strategy for the cabbage and turnip root flies in Broccoli using Chinese cabbage, Red clover and Entomophthora muscae. Non Publié.

*Bouvard, D., L'Hote , J.-M., and Ramon, R. (2008). Pomme de terre : primeur lutte contre les nématodes à kystes (*Globodera pallida*) par une culture-piège d'une variété résistante.*

Burgio, G., Marchesini, E., Reggiani, N., Montepaone, G., Schiatti, P., and Sommaggio, D. (2016). Habitat management of organic vineyard in Northern Italy: the role of cover plants management on arthropod functional biodiversity. Bulletin of Entomological Research *106, 759–768.*

Capinera, J.L. (2020). Acceptability of Bedding Plants by the Leatherleaf Slug, Leidyula floridana (Mollusca: Gastropoda: Veronicellidae). Flen 103, p. 80-84.

Chave, M., Tchamitchian, M., Ozier-Lafontaine, H. (2014). Agro-ecological engineering to biocontrol soil pests for crop health. Sustainable Agriculture Reviews 15 - Agroecology and Global Change. Eds Ozier-Lafontaine H, Lesueur- Jannoyer M.

Chave, M., Angeon, V., Paut, R., Collombet, R. and Tchamitchian, M. (2019). Codesigning biodiversity-based agrosystems promotes alternatives to mycorrhizal inoculants. Agronomy for Sustainable Development, *39:48, Online.*

Chellemi, D.O., Olson, S.M., Mitchell, D.J., Secker, I., and McSorley R. (1997). Adaptation of Soil Solarization to the Integrated Management of Soilborne Pests of Tomato Under Humid Conditions. Phytopathol. *87 (3), p. 250-258.*

Colozzi Filho, A., and Cardoso, E.J.B.N. (2000). Detection of arbuscular mycorrhizal fungi in roots of coffee plants and Crotalaria cultivated between rows. Can. J. Bot. *35, 2033–2042.*

Cook, S. M., Khan, Z. R. and Pickett, J. A. (2007). The use of push-pull strategies in integrated pest management. Annual review of entomology, *52.*

Cooper, J.I., Jones, A.T. (1983). Responses of plants to viruses: proposals for the use of terms. Phytopathology *73: p. 127-128.*

Dardouri, T., Gautier, H., Ben Issa, R., Costagliola, G., Gomez, L. (2019,a). Repellence of Myzus persicae *(Sulzer): evidence of two modes of action of volatiles from selected living aromatic plants.* Pest Management Science, *75 (6), p. 1571-1584.*

Dardouri, T., Gomez, L., Schoeny, A., Costagliola, G., Gautier, H. (2019,b). Behavioural response of green peach aphid Myzus persicae *(Sulzer) to volatiles from different rosemary (*Rosmarinus officinalis *L.) clones.* Agricultural and Forest Entomology, *21 (3), p. 336-345.*

Deberdt, P., Etienne, L., Fernandes, P., Coranson-Beaudu, R., Minatchi, S. (2014). Biodésinfection des sols maraîchers avec les Alliacées: application à la gestion du flétrissement bactérien de la tomate., 1 p. Congrès du Groupe français des pesticides : « Protection des cultures et santé environnementale : héritages et conceptions nouvelles », Schoelcher, Martinique, 26 Mai 2014/29 Mai 2014.

Deberdt, P., Gozé, E., Coranson-Beaudu, R., Perrin, B., Fernandes, P., Lucas, P., and Ratnadass, A. (2015). Crotalaria spectabilis *and* Raphanus sativus *as Previous Crops Show Promise for the Control of Bacterial Wilt of Tomato Without Reducing Bacterial Populations.* Journal of Phytopathology *163, p. 377-385.*

Deguine, J.P., Augusseau, X., Insa, G., Jolet, M., Roux, K.L., Marquier, M., Rousse, P., Roux, E., Soupapoullé, Y., and Suzanne, W. (2013). Gestion agroécologique des mouches des légumes à La Réunion. Innovations Agronomiques *28, 59.*

Deletre, E., Schatz, B., Bourguet, D., Chandre, F., Williams, L., Ratnadass, A., and Martin, T. (2016). Prospects for repellent in pest control: current developments and future challenges. Chemoecology *26, p. 127-142.*

Detrey J., Cognard V., Djian-Caporalino C., Marteu N., Doidy J., Pourtau J., Vriet C., Maurousset L., Bouchon D. and Clause, J. (2020). Impact of leek intercropping, mycorrhizae and earthworms on root-knot nematodes and tomato plant performances. Soumis à Plant and Soil

Dicke, M., and Baldwin, I.T. (2010). The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the 'cry for help.' Trends in Plant Science *15, p. 167-175.*

Djian-Caporalino C., Bourdy G. and Cayrol J.C. (2008). Plantes nématicides et plantes résistantes aux nématodes. Dans : C. Regnault-Roger, B. Jr. Philogène, C. Vincent (Eds) Biopesticides d'origine végétale : potentialités phytosanitaires. 2nd édition Tec & doc, Lavoisier, Paris, 546 pages, pp. 125-185.

Djian-Caporalino, C. and Navarrete, M., Fazari, A., Marteu, N., Bailly-Bechet, M., Dufils, A., Tchamitchian M., Lefèvre, A., Pares, L., Mateille, T., Tavoillot, J., Palloix, A., Sage-Palloix, A.M., Védie, H., Goillon, C., Castagnone-Sereno, P. (2019a). Conception et évaluation de systèmes de culture maraîchers méditerranéens innovants pour gérer les nématodes à galles. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement (BASE) 23 (1): Protection des Plantes dans les Agroécosystèmes Méditerranéens, *p. 7-21.*

Djian-Caporalino, C., Mateille, T., Bailly Bechet, M., Marteu, N., Fazari, A., Bautheac,

BIBLIOGRAPHIE

P., Raptopoulo, A., Van Duong, L., Tavoillot, J., Martiny, B., Goillon, C., Castagnone-Sereno, P. (2019,b). Evaluating sorghums as green manure against root-knot nematodes. Crop Protection *122: 142-150*

Dube, Z.P., and Mashela, P.W. (2017). In vitro characterization of Meloidogyne incognita *juvenile egress and mortality under Nemarioc-AL phytonematicide.* Rese. Crop. *18, 379.*

Fernandes, F., Deberdt, P., Chave, M., Diedhiou, S., Minatchi, S., Coranson-Beaudu, R., Goze, E. (2012). Des plantes assainissantes candidates pour réduire le flétrissement bactérien de la tomate dans les conditions de la Martinique. Les Cahiers du PRAM n° 11 - Mai 2012 « Recherches agro-environnementales : Les nouveaux challenges » *: p. 27-30.*

Frank, S.D. (2010). Biological control of arthropod pests using banker plant systems: Past progress and future directions. Biological Control *52, p. 8-16.*

Gard, B., Pierre, S.P., Bardel, A. (2019). Gestion des punaises phytophages en cultures maraîchères. Bilan du projet IMPULsE à mi-parcours. INFOS-CTIFL, *n° 355 octobre, p. 31-35.*

Glas, J.J., Schimmel, B.C.J., Alba, J.M., Escobar-Bravo, R., Schuurink, R.C., and Kant, M.R. (2012). Plant Glandular Trichomes as Targets for Breeding or Engineering of Resistance to Herbivores. International Journal of Molecular Sciences *13, p. 17077-17103.*

Goillon, C., Mateille, T., Tavoillot, J., Marteu, N., Fazari A., Djian-Caporalino, C. (2016). Utiliser le sorgho pour lutter contre les nématodes à galles. Phytoma La défense des végétaux, *n° 698, novembre 2016, p. 39-44.*

Goude, M., Salvador, B., Perrin, B., Dayraud, C, Pons, R. (2017). « Produire des plantes relais pour le maraîchage sous abri » GIEE Phytobiomar, *CIVAMBIO66, INRA Alénya, EPL Theza-Rivesaltes. 4 pp.*

Haichar, F.e.Z., Santaella, C., Heulin, T., and Achouak, W. (2014). Root exudates mediated interactions belowground. Soil Biol Biochem. *77: p. 69-80.*

Hammond-Kosack, K.E., and Kanyuka, K. (2007). Resistance Genes (R Genes) in Plants. ELS.

Hassanali, A., Herren, H., Khan, Z. R., Pickett, J. A., and Woodcock, C. M. (2008). Integrated pest management: the push-pull approach for controlling insect pests and weeds of cereals, and its potential for other agricultural systems including animal husbandry. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, *363(1491), p. 611-621.*

Haynes, R., RL, H., and CM, J. (1976). Effets of the bi locus in cucumber on reproduction, attraction, and response of the plant to infection by the southern root-knot nematode.

Heil, M., Silva Bueno, J.C. (2007). Within-plant signaling by volatiles leads to induction and priming of an indirect plant defense in nature. Proc. Natl. Acad. Sci. USA *104: p. 5467-5472*

Hodgkiss, D., Brown, M.J.F., Fountain ,M.T. (2018). Syrphine hoverflies are effective pollinators of commercial strawberry. J Pollinat Ecol *22: p. 55-66*

Hooks, C.R.R., Valenzuela, H.R., and Defrank, J. (1998). Incidence of pests and arthropod natural enemies in zucchini grown with living mulches. Agriculture, Ecosystems & Environment *69, p. 217-231.*

Huang, N., Enkegaard, A., Osborne, L.S., Ramakers, P.M.J., Messelink, G.J., Pijnakker, J., and Murphy, G. (2011). The Banker Plant Method in Biological Control. Critical Reviews in Plant Sciences *30, p. 259-278.*

Huang, X.-F., Chaparro, J.M., Reardon, K.F., Zhang, R., Shen, Q., Vivanco, J.M. (2014). Rhizosphere interactions: root exudates, microbes, and microbial communities. Botany *92, p. 267-275.*

Hussein, M.Y., Samad, N.A.. (1993). Intercropping chilli with maize or brinjal to suppress populations of Aphis gossypii *Glov., and transmission of chilli viruses.* Int. J. Pest Manage. *39, p. 216-222.*

Jourand, P., Fargette, M., and Mateille, T (2004). Nematostatic activity of aqueous extracts of West African Crotalaria species. Nematology, *2004, Vol. 6(5), p. 765-771.*

Kergunteuil, A., Dugravot, S., Mortreuil, A., Le Ralec, A., Cortesero, A.M. (2012). Selecting volatiles to protect brassicaceous crops against the cabbage root fly, Delia radicum. Entomol Exp Appl *144: p. 69-77.*

Kessler, A., and Kalske, A. (2018). Plant Secondary Metabolite Diversity and Species Interactions. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. *49, p. 115-138.*

Kirkegaard, J.A. and Sarwar, M. (1998). Biofumigation potential of brassicas. I. Variation in glucosinolate profiles of diverse field-grown brassicas. Plant Soil *201, p. 71-89.*

Lambion, J. (2017) Biodiversité fonctionnelle en maraîchage biologique : renforcer l'effet des bandes florales grâce à un transfert actif - Compte-rendu d'essai *2017.*

Lamy, F., Dugravot, S., Cortesero, A.M., Chaminade, V., Faloya, V., and Poinsot, D. (2018). One more step toward a push-pull strategy combining both a trap crop and plant volatile organic compounds against the cabbage root fly Delia radicum. Environ Sci Pollut Res *25, p. 29868-29879.*

Landis, D.A., Wratten, S.D., and Gurr, G.M. (2000). Habitat Management to Conserve Natural Enemies of Arthropod Pests in Agriculture. Annu. Rev. Entomol. *45, p. 175-201.*

Lannou, C., Roby, D., Ravigné, V., Hannachi, M., Moury, B. (2020) (Eds) L'immunité des plantes : pour des cultures résistantes aux maladies, *Éditions Quæ, Collection Savoir-faire, sous presse.*

Latheef, M.A., and Ortiz, J.H. (1984). Influence of Companion Herbs on Phyllotreta cruciferae (Coleoptera: Chrysomelidae) *on Collard Plants.* J Econ Entomol *77, p. 80-82.*

Lazzeri, L., Leoni, O. and Manici, L.M. (2004). Biocidal plant dried pellets for biofumigation. Industrial Crops and Products *20, p. 59-65.*

Leake, J., Johnson, D., Donelly, D., Muckle, G., Boddy, L., Read, D. (2004). Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. Revue canadienne de botanique *82: p. 1016-1045.*

Letourneau, D.K., Armbrecht, I., Rivera, B.S., Lerma, J.M., Carmona, E.J., Daza, M.C., Escobar, S., Galindo, V., Gutiérrez, C., López, S.D., et al. (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. Ecological Applications *21, p. 9-21.*

Levin, D.A (1973). The role of trichomes in plant defense. Quarterly Review of Biology, *3-15.*

Lord, J.S., Lazzeri, L., Atkinson, H.J., and Urwin, P.E. (2011). Biofumigation for Control of Pale Potato Cyst Nematodes: Activity of Brassica Leaf Extracts and Green Manures on Globodera pallida in Vitro and in Soil. J. Agric. Food Chem. *59, p. 7882-7890.*

Lundgren, J.G. (2009). Nutritional aspects of non-prey foods in the life histories of predaceous Coccinellidae. Biological Control *51, p. 294-305.*

Mateille, T., Tavoillot, J., Goillon, C., Parès, L., Lefèvre, A., Védie, H., Navarrete, M., Palloix, A., Sage-Palloix, A.M., Castagnone-Sereno, P., Fazari, A., Marteu, N. and Djian-Caporalino C., (2020). Competitive interaction in plant-parasitic nematode communities affecting organic vegetable cropping systems. Crop Protection *135: p. 1-6.*

Messelink, G.J., Bennison, J., Alomar, O., Ingegno, B.L., Tavella, L., Shipp, L., Palevsky, E., and Wäckers, F.L. (2014). Approaches to conserving natural enemy populations in greenhouse crops: current methods and future prospects. BioControl *59, p. 377-393.*

Morallo-Rejesus, B., Decena, A. (1982). The activity, isolation, purification and identification of the insecticidal principles from Tagetes. Philipp. J. Crop Sci. *7, p. 31-36.*

Navarrete, M., Djian-Caporalino, C., Mateille, T., Palloix, A., Sage-Palloix ,A.M., Lefèvre, A., Fazari, A., Marteu, N., Tavoillot, J., Dufils, A., Furnion, C., Pares, L. and Forest, I. (2016). A resistant pepper used as a trap cover crop in vegetable production strongly decreases root-knot nematode infestation in soil. Agronomy and Sustainable Development, *36: p. 68-78, Online.*

Norsworthy, J.K., Malik, M.S., Jha, P., and Riley, M.B. (2007). Suppression of Digitaria sanguinalis *and* Amaranthus palmeri *using autumn-sown glucosinolate-producing cover crops in organically grown bell pepper.* Weed Research *47, p. 425-432.*

Okmen, B., Etalo, D. W., Joosten, M., Bouwmeester, H. J., de Vos, R. C. H., Collemare, J. and de Wit, P. (2013). Detoxification of -tomatine by Cladosporium fulvum *is required for full virulence on tomato.* New Phytologist, *198(4), p. 1203-1214.*

*Osei, K., Gowen, S.R., Pembroke, B., Brandenburg, R.L., and Jordan, D.L. (2010). Potential of Leguminous Cover Crops in Management of a Mixed Population of Root-knot Nematodes (*Meloidogyne *spp.).* J Nematol *42, p. 173-178.*

BIBLIOGRAPHIE

Parker, J. E., Snyder, W. E., Hamilton, G. C., and Rodriguez S., C. (2013). « Companion Planting and Insect Pest Control». In Weed and Pest Control - Conventional and New Challenges, *edited by Sonia Soloneski.*

Parolin, P., Bresch, C., Desneux, N., Brun, R., Bout, A., Boll, R., and Poncet, C. (2012). Secondary plants used in biological control: A review. International Journal of Pest Management *58, p. 91-100.*

Pekas, A., Wäckers, F.L. (2017). Multiple-resource supplements synergistically enhance predatory mite populations. Oecologia, *184, p. 479-784*

Picault, S. (2017). Protection des cultures de poireau contre les thrips : des plantes de service pour attirer les ennemis naturels, INFOS CTIFL *n° 334 septembre, p. 26-39.*

Pickett, J.A., Woodcock, C.M., Midega, C.A.O., Khan, Z.R. (2014). Push–pull farming systems. Current Opinion in Biotechnology *26, p. 125-132.*

Rhino, B., and Ratnadass, A. (2017). Utilisation du maïs doux comme plante piège pour contrôler la noctuelle de la tomate Helicoverpa zea. *Lille : AFPP, 12 p. AFPP COnférence sur les Moyens Alternatifs de Protection pour une Production Intégrée (COMAPPI). 6, Lille, France, 21 Mars 2017/23 mars 2017.*

Rhino, B., Dross, C., Momperousse, R.J., Thibaut C., Verchere A. and Fernandes, P. (2014). Intérêt du basilic pour la gestion agroécologique de l'aleurode Bemisia tabaci *dans les parcelles de tomate.* Les Cahiers du PRAM *n° 12 - octobre 2014 - « L'agroécologie en application », p. 15-17.*

Rodriguez-Heredia, M., Djian-Caporalino C., Ponchet, M., Lapeyre, L., Canaguier, R., Fazari, A., Marteu ,N., Industri, B., Offroy-Chave, M. (2020). Protective effects of mycorrhizal association in tomato and pepper against Meloidogyne incognita *infection, and mycorrhizal networks for early mycorrhization of low mycotrophic plants.* Phytopatologia Mediterranea, *sous presse.*

Schoeny, A.; Lauvernay, A.; Lambion, J.; Mazzia, C.; Capowiez, Y. (2019). The beauties and the bugs: A scenario for designing flower strips adapted to aphid management in melon crops. Biological Control *2019, 136, 103986.*

Shelton, A. M., Badenes-Perez, F. R. (2006). Concepts and applications of trap cropping in pest management. Annu. Rev. Entomol., *51, p. 285-308.*

Simon, S., Bouvier, J.-C., Debras, J.-F., and Sauphanor, B. (2010). Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. Agron. Sustain. *Dev. 30, p. 139-152.*

Sorensen, J.N., and Thorup-Kristensen, K. (2003). Undersowing Legume Crops for Green Manuring of Lettuce. Biological Agriculture & Horticulture *21, 399–414.*

Tissier, A., Ziegler, J. and Vogt, T. (2014). Specialized Plant Metabolites: Diversity and Biosynthesis. In Ecological Biochemistry *(eds G. J. Krauss and D.H. Nies).*

Unsicker, S.B., Kunert, G., and Gershenzon, J. (2009). Protective perfumes: the role of vegetative volatiles in plant defense against herbivores. Current Opinion in Plant Biology *12, p. 479-485.*

Uren, N.C. (2007). Types, amounts and possible functions of compounds released into the rhizosphere by soil-grown plants. In The Rhizosphere, Biochemistry and Organic Substances at the Soil–Plant Interface *(eds R. Pinton, Z. Varanini and P. Nannipieri). Marcel Dekker, New York, NY, USA. 2nd edition: p. 19-40.*

Uvah, I.I.I., and Coaker, T.H. (1984). Effect of mixed cropping on some insect pests of carrots and onions. Entomologia Experimentalis et Applicata *36, p. 159-167.*

Veresoglou, S.D., and Rillig, M.C. (2012). Suppression of fungal and nematode plant pathogens through arbuscular mycorrhizal fungi. Biology Letters *8, p. 214-217.*

Verret, V., Gardarin, A., Pelzer, E., Médiène, S., Makowski, D. and Valantin-Morison, M. (2017). Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis. Field Crops Research, *204, p. 158-168.*

Villeneuve F., Bossis M., Breton D., Brunel E., Diare N., Rouxel F. (2001). La carotte en France : principaux ennemis de la culture et programmes de recherches encours. Phytoma – La Défense des Cultures, *536 : p. 35-39*

Villeneuve F., Djian-Caporalino C., Szilvasi, S. (2013). Les nématodes et les cultures légumières. Biologie et contexte réglementaire (1re partie). INFOS-CTIFL, *289 mars, p. 41-50.*

Villeneuve F., Latour F., Théry T. (2016). Les maladies vasculaires de l'aubergine et du melon et techniques de protection envisageables pour rendre durables les résistances variétales. Innovations agronomiques, *49 : p. 327-342.*

Villeneuve, F., Lepaumier, B., Ganseman, C. (2000). Pucerons sur laitue : Estimation des risques d'infestations. INFOS-CTIFL *n° 158 janvier-février : p. 28-31.*

Vos, C.M., Tesfahun, A.N., Panis, B., De Waele, D., and Elsen, A. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi induce systemic resistance in tomato against the sedentary nematode Meloidogyne incognita *and the migratory nematode* Pratylenchus penetrans. Applied Soil Ecology *61, p. 1-6.*

Vos, C., Schouteden, N., Van Tuinen, D., Chatagnier, O., Elsen, A., De Waele, D., Panis, B., and Gianinazzi-Pearson, V. (2013). Mycorrhiza-induced resistance against the root–knot nematode Meloidogyne incognita *involves priming of defense gene responses in tomato.* Soil Biology and Biochemistry *60, p. 45-54.*

Wäckers, F. (2005). Plant-provided food for carnivorous insects: a protective mutualism and its applications. Chapitre : Wackers, F. (2005). Plant-provided food for carnivorous insects: a protective mutualism and its applications *(Cambridge University Press).*

Walter, D.E. (1996). Living on Leaves: Mites, Tomenta, and Leaf Domatia. Annu. Rev. Entomol. *41, p. 101-114.*

Wang, K.-H., McSorley, R., Marshall, A., and Gallaher, R.N. (2006). Influence of organic Crotalaria juncea *hay and ammonium nitrate fertilizers on soil nematode communities.* Applied Soil Ecology *31, p. 186-198.*

Zhang, W., Ricketts, T.H., Kremen, C., Carney, K., and Swinton, S.M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. Ecological Economics *64, p. 253-260.*

Zhu, P., Zheng, X., Xie, G., Chen, G., Lu, Z., and Gurr, G. (2020). Relevance of the ecological traits of parasitoid wasps and nectariferous plants for conservation biological control: a hybrid meta-analysis. Pest Management Science *76, p. 1881-1892.*

Ziv, C., Zhao, Z. Z., Gao, Y. G. and Xia, Y. (2018). Multifunctional roles of plant cuticle during plant-pathogen interactions. Frontiers in Plant Science, *9.*

SITOGRAPHIE

Agro Media (2018). Bio : Des consommateurs prêts à dépenser plus (https://www.agro-media.fr/dossier/bio-des-consommateurs-prets-a-depenser-plus-28718.html).

Deberdt, P., et Fernandes, P. (2013). Utilisation des plantes de services en cultures maraichères (https://www.supagro.fr/ress-tice/EcoHort/Uved/PlantesServices-Maraichage/co/10_EffetBarriere.html).

LIEN VERS LES TRAVAUX MENÉS DANS LE CADRE DU PROJET RITAS

Bio Savane. Cultivons autrement : exemples locaux de techniques agroécologiques (2016): https://coatis.ritadom.fr/osiris/files/CultivonsAutrementExemplesLocauxDeTechni_fichier_ressource_livret_biosavane56p_web.pdf.

Gerard, M., Huat, J., Marnotte, P., Rhino, B., Deberdt, P. (2016). Des plantes pour des services écosystèmiques multiples en zone tropicale - AgroEcoDom.: https://coatis.ritadom.fr/osiris/files/PosterAgroecodom2016PlantesDeServices_fichier_ressource_poster-plantes-de-services.pdf.

Fernandes, P., Minatchi, S., Asencio, R. (2014). Fiche technique sur Crotalaria juncea *: https://coatis.ritadom.fr/osiris/files/fichier_ressource_972_Plantes_de_serviceCrotalaria_juncea.pdf.*

Le centre technique au service de toute la filière

> Centre de Balandran
751 chemin de Balandran
30127 Bellegarde
Tél. +33 (0)4 66 01 10 54
Fax. +33 (0)4 66 01 62 28

> Centre de Carquefou
ZI Belle Étoile - Antarès
35 allée des Sapins
44483 Carquefou
Tél. +33 (0)2 40 50 81 65
Fax. +33 (0)2 40 50 98 09

> Centre de Lanxade
28 route des Nébouts
24130 Prigonrieux
Tél. +33 (0)5 53 58 00 05
Fax. +33 (0)5 53 58 17 42

> Centre de Saint-Rémy-de-Provence
Route de Mollégès
13210 St-Rémy-de-Provence
Tél. +33 (0)4 90 92 05 82
Fax. +33 (0)4 90 92 48 87

> Antenne de Rungis
1 rue de Perpignan
Bâtiment D3
Case postale 30420
94632 Rungis Cedex
Tél. +33 (0)1 56 70 11 30
Fax. +33 (0)1 45 60 58 02

> Antenne de Nancy
20 rue Aristide Briand
54500 Vandœuvre-lès-Nancy
Tél. 03 83 56 79 78

> CTIFL Paris
97 boulevard Pereire
75017 Paris
Tél. +33 (0)1 87 76 04 00

Action financée par

RÉUSSIR AUJOURD'HUI, C'EST IMAGINER DEMAIN