NUMÉRO SPÉCIAL PHYTOSANITAIRE par les étudiants agronomie 2e année

AGROFLASH

AGRONOMIE HEPIA AVRIL 2022

ÉDITO

Un contexte favorable aux microbes bénéfiques pour l'agriculture

Partout en Europe, et donc en Suisse, se mettent en place des plans de réduction des risques phytosanitaires implémentés par des paquets de mesure. Au niveau de l'Union Européenne, c'est la directive européenne 2009/128 qui créée un cadre d'action commun visant à diminuer l'utilisation des pesticides. Cette loi européenne fixe les principes de plusieurs règlements mettant en œuvre la réduction de l'utilisation, des risques et des impacts des produits phytosanitaires. Ces règlements portent sur le certiphyto (permis de traiter), l'inspection des matériels de pulvérisation, les restrictions d'usages dans les zones sensibles, l'interdiction de la pulvérisation aérienne, la mise en œuvre obligatoire de la protection intégrée. Cette loi européenne impose en outre l'adoption de plans nationaux dans les états membres, dont un des exemples est le plan français Eco-Phyto. La Suisse n'échappe pas à cette évolution et développe depuis 2017 son plan national de réduction des risques phytosanitaires (1), avec des objectifs et des mesures très similaires pour atteindre une réduction de 50% des applications de pesticides de synthèse à long terme. C'est un projet ambitieux visant 8 objectifs et 12 objectifs intermédiaires concrets et proposant plus de 50 mesures de mise en œuvre, chacune de ces mesures développant de nombreux axes d'action spécifiques. A titre d'exemple le premier objectif intermédiaire est d'atteindre en 2027 une réduction de 30 % de l'utilisation des produits phytosanitaires présentant des risques particuliers par rapport à la période 2012–2015. À Genève dès 2016, les autorités cantonales ont commencé de réfléchir en anticipation à la problématique de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires d'abord par la constitution d'un groupe de travail réunissant des partenaires impliqués dans tous les secteurs touchant à l'agriculture, la production bien sûr mais aussi la vulgarisation, la formation, la recherche ou le contrôle des contaminations de résidus chimiques. La mission était d'identifier les problèmes et de proposer des mesures concrètes. En 2018, les autorités ont pu produire le fruit de ces travaux sous la forme d'un rapport et d'un volumineux « Catalogue de mesures fédérales et cantonales visant à la réduction des risques et à l'utilisation durable des produits phytosanitaires » (2), compilant les mesures cantonales en harmonie avec les mesures fédérales communiquées en 2017. Il est évidemment attendu de la mise en œuvre de ces mesures cumulées les réductions visées par le plan fédéral. Le catalogue genevois propose des actions spécifiques sous les mesures « 29b) Intégration d'agents microbiens aux stratégies de production intégrées pour en réduire les quantités appliquées » (3) et « 29c) Développement et promotion de biostimulants et d'antagonistes microbiens ». Ce sont effectivement des mesures utiles pour l'objectif général, pouvant s'appliquer en production intégrée comme en production biologique et qui devrait rendre plus commune la lutte microbiologique par agents microbiens antagonistes et l'utilisation de biostimulants microbiens. Ces mesures permettent comme on peut en juger de familiariser utilisateurs et consommateurs avec des concepts peu connus de l'utilisation de bactéries et de champignons bénéfiques en agriculture. Les futurs développements attendus l'utilisation de combinaisons de microorganismes possédant les deux modes d'action, ou mieux encore un microorganisme combinant en lui les deux modes d'action, par exemple un champignon entomophage ciblant des ravageurs mais qui soit aussi biostimulant. Le seul frein identifié pour l'instant réside dans les procédures d'homologation différentes pour les deux modes d'action, ce qui représente des coûts importants pour la mise sur le marché. L'utilisation des microbes agricoles bénéfiques ne pourra malgré tout que s'accroître dans le futur en raison de leurs avantages reconnus. Les articles présentés dans cette édition spéciale permettront de rendre compte des applications diverses de ces microbes, mais aussi du cadre légal suisse qui en permet l'utilisation.

(1) https://www.blw.admin.ch/blw/fr/home/nachhaltige-Produktion/pflanzenschutz/aktionsplan.html
(2) https://agriculture-durable-geneve.ch/sites/default/files/2020-06/Rapport_PPh_GE_Agri_V1.pdf
(3) https://agriculture-durable-geneve.ch/fr/protection-des-cultures/mesures/rechercher/mesure-29b-developpement-et-promotion-des-biostimulants

François Lefort

SOMMAIRE

ÉDITO
François Lefort 1

Législation suisse, un frein à la tendance actuelle ?
Charlotte Dauvergne, Kandiphan Kanagasabai 2–3

Agents de lutte microbiologique contre *Pieris brassicae*
Dorian Damay, Théo Gomez 4

Le maïs Sierra mixe
Vladimir Sciboz, Loic Wigger..... 5

Synthèse sur la lutte microbiologique contre les maladies des agrumes
Miluna Gendre, Mathieu Devaud 6-7

Lutte microbiologique contre la limace *Deroceras reticulatum*
Emma Baumgartner, Lisa Gindroz 8-9

Lutte microbiologique avec *Trichoderma asperellum* et *Trichoderma harzianum* contre *Verticillium dahliae*
Marwa Abdoulaye, Mélissa Rose 9-10

Groupe fonctionnel *Bacillus amyloliquefaciens*
Clara Lugon, Marin Tromme..... 10-11

IMPRESSUM

hepia
Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

CONTACT AGROFLASH:
Nadia Yousfi Picenni
nadia.picenni@hesge.ch

CONTACT AGRONOMIE LULLIER:
Site Lullier
Route de Presinge 150 CH-1254 Jussy
t +41 22 546 68 55
agro.hepia@hesge.ch

Lutte microbiologique : Législation suisse, un frein à la tendance actuelle ?

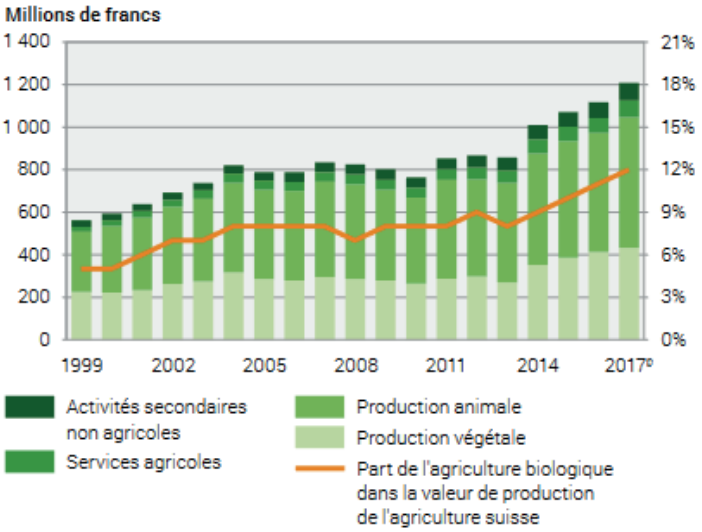
Charlotte Dauvergne, Kandiphan Kanagasabai

La pression du public et le poids du marché

Par bien des aspects, les problématiques liées à l'environnement ont un poids grandissant dans l'espace public. C'est dans un contexte de problématique environnementale que les deux initiatives de juin 2021 dites « Eaux-Propres » et « Pesticides de synthèse » sont présentées au peuple suisse.
Bien que balayées, ces initiatives illustrent la tendance qui régit actuellement les PPh. Ajouté à cela, la part d'exploitations biologiques n'a jamais été aussi haute (15%) et elles sont en constante augmentation, défiant ce faisant, la tendance à la baisse des exploitations agricoles. Dès lors, le marché et donc la demande n'a de cesse d'accorder une part de plus en plus importante à une agriculture limitante en PPh de synthèse. Ainsi en 2017 18% du marché soit 1.2 mrd était détenu par la part biologique de l'agriculture.

La valeur de production de l'agriculture biologique

À prix courants — G5

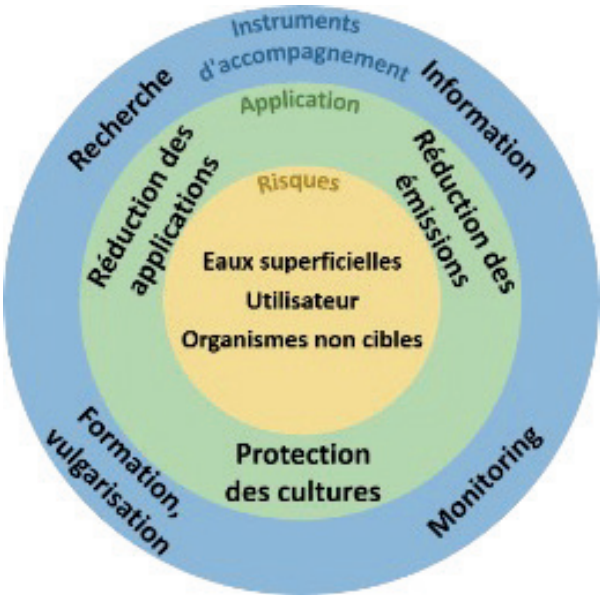


º provisoire

Source: OFS – Comptes économiques de l'agriculture — © OFS 2019

La volonté politique

Si certes la société pointe de plus en plus les PPh de synthèse, qu'en est-il des décideurs ? En 1998 la confédération rend les PER obligatoire afin de percevoir les paiements directs. Ce tournant entérine la volonté de la confédération de passer la production agricole en production intégrée. Dès lors, et face à l'intérêt grandissant du public aux problématiques environnementales, le pouvoir exécutif et législatif va mettre en place des mesures visant à optimiser l'utilisation des PPh.
L'enjeu majeur réside désormais en la continuation de l'agencement des instruments législatifs afin de correspondre au mieux aux attentes.
Si le plan d'actions produits phytosanitaire mis en place en 2017 illustre cette volonté politique, il est intéressant de se demander si cela est suffisant. Les récents travaux, études et rapports démontrent les effets bénéfiques que les moyens de lutte microbiologique apportent tant en agriculture biologique qu'en conventionnel (et donc en PI). Dès lors, l'agriculture suisse a tout à gagner dans le développement de la biotechnologie et de la lutte microbiologique. Mais la réalité législative rejoint-elle (permet-elle) les attentes publiques, politiques et agricoles ?



La législation un frein ?

Que disent les textes de loi sur l'évaluation et l'autorisation des produits de biocontrôle ? La législation sur la mise en circulation des micro-organismes de biocontrôle est régi par la même ordonnance que pour les produits phytosanitaires chimiques où ils partagent tous deux les exigences de l'art. 17. Les deux catégories se distinguent ensuite, l'une de l'autre par des principes uniformes plus ou moins spécifiques (cf figure). Pour les produits phytosanitaires contenant des micro-organismes, c'est vingt quatre principes qui sont énumérés dans l'ordonnance. Les dangers et leur importance ainsi que les risques probables sur l'environnement, les animaux et les hommes sont au centre des préoccupations. Les questions d'identification, du mode d'action et des méthodes d'analyse sont également des questions largement traitées. La législation sur la lutte microbiologique est effectivement un facteur freinant la mise sur le marché des bio-contrôles. Toutefois,

les contraintes imposées par la législation ne sont-elles pas nécessaires à la sécurité et à la pérennité de la mise sur le marché d'un produit de ce type ? Il ne faut peut-être pas oublier que ces produits sont généralement formulés pour avoir un effet biocide. De plus, bien que les microorganismes semblent promettre des solutions de biocontrôle alternatives aux produits phytosanitaires chimiques, il existe d'autres limites aux longues procédures administratives. Travailler avec des organismes vivants exacerbe parfois les limites de la connaissance humaine mais surtout la complexité des écosystèmes ou agrosystèmes auxquelles nous les destinons.

Exemple de micro-organisme entomopathogène unité infectieuse: Spore de Beauveria bassiana © Mathias de Kouassi

Bibliographie

BIO SUISSE, 2021. Agriculture biologique et marché bio.*bio-suisse.ch* [en ligne]. 2021. [Consulté le 2 février 2022]. Consulté à l'adresse: https://www.bio-suisse.ch/fr/notre-association/portrait/le-bio-en-chiffres.html

JEANNENEY, Jean-Noël et FRANCE CULTURE, sans date. Concordance des temps. [en ligne]. [Consulté le 2 février 2022]. Consulté à l'adresse: https://www.franceculture.fr/emissions/concordance-des-temps

LE CONSEIL FÉDÉRAL, 2010. RS 916.161 - Ordonnance du 12 mai 2010 sur la mise en circulation des produits phytosanitaires (Ordonnance sur les produits phytosanitaires, OPPh). admin.ch [en ligne]. 2010. [Consulté le 2 février 2022]. Consulté à l'adresse: https://www.fedlex.*admin.ch*/eli/cc/2010/340/fr#fn-d6e1411

LE CONSEIL FÉDÉRAL, 2021a. Initiative populaire « Pour une Suisse libre de pesticides de synthèse ». admin.ch [en ligne]. 2021. [Consulté le 1 février 2022]. Consulté à l'adresse: https://www.admin.ch/gov/fr/start/dokumentation/abstimmungen/20210613/iniziativa-popolare-per-una-svizzera-senza-pesticidi-sintetici.html

LE CONSEIL FÉDÉRAL, 2021b. Initiative populaire pour une eau potable propre et une alimentation saine. admin.ch [en ligne]. 2021. [Consulté le 1 février 2022]. Consulté à l'adresse: https://www.*admin.ch*/gov/fr/accueil/documentation/votations/20210613/initiative-populaire-pour-une-eau-potable-propre-et-une-alimentation-saine.html

OFFICE FÉDÉRAL DE LA STATISTIQUE, 2019. L'agriculture biologique en Suisse entre 1990 et 2017 - D'une production de niche à une production agricole établie.
admin.ch [en ligne]. Neuchatel. [Consulté le 2 février 2022]. Consulté à l'adresse: https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/catalogues-banques-donnees/publications.assetdetail.7106365.html

OFFICE FÉDÉRAL DE LA STATISTIQUE, 2021. En 2020, 15% des exploitations agricoles étaient bio en Suisse - Relevé des structures agricoles 2020. *admin.ch* [en ligne]. 11 mai 2021. [Consulté le 2 février 2022]. Consulté à l'adresse:
https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/catalogues-banques-donnees/communiques-presse.assetdetail.16984917.html

OFFICE FÉDÉRAL DE L'AGRICULTURE, 2019. Plan d'action Produits phytosanitaires *admin.ch* [en ligne]. Bern. [Consulté le 2 février 2022]. Consulté à l'adresse: https://www.blw.admin.ch/blw/fr/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/aktionsplan.html

OFFICE FÉDÉRAL DE L'AGRICULTURE, 2020. Message relatif à l'évolution future de la Politique agricole à partir de 2022 (PA22+). *admin.ch* [en ligne]. 2020. [Consulté le 2 février 2022]. Consulté à l'adresse: https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2020/881/fr

SAUTEBIN, Sébastien, 2022. Pesticides dans le pain: le bio tient ses promesses. *bonasavoir.ch* [en ligne]. 2022. [Consulté le 2 février 2022]. Consulté à l'adresse: https://www.bonasavoir.ch/930688-test-pesticides-dans-le-pain-le-bio-tient-ses-promesses

VON WYSS, Bastien, MÜLLER, Justin et TSCHUMI, Marie, 2022. Des pesticides trouvés dans des pains achetés en grande surface. *rts.ch* [en ligne]. 2022. [Consulté le 2 février 2022]. Consulté à l'adresse: https://www.rts.ch/info/suisse/12783136-des-pesticides-trouves-dans-des-pains-achetes-en-grande-surface.html

Agents de lutte microbiologique contre Pieris brassicae

Dorian Damay, Théo Gomez

La piéride du chou est un lépidoptère dont la larve phytophage peut réduire les rendements en choux et d'autres Brassicaceae de 40% . On la retrouve en Amérique du Nord, Europe et Asie.

Les insecticides de synthèse présentent de plus en plus d'inconvénients dont la toxicité et le développement de résistances. C'est pourquoi la stratégie actuelle est l'utilisation d'agents microbiologiques capables de tuer les ravageurs sans attaquer la biodiversité fonctionnelle.
Cet article présente certains organismes qui réduisent la pression de cet insecte : *Beauveria bassiana, Bacillus thuringiensis* et le virus de la granulose de la piéride du chou (PbGV).
Beauveria bassiana est un ascomycète connu pour attaquer des centaines d'espèces d'insectes . Il lyse la cuticule de son hôte et digère ses organes internes grâce à des protéases, lipases et chitinases. L'insecte meurt de l'intérieur. Pour 3 souches, Negiet al. (2020) ont trouvé des taux de mortalité moyens de 0 à 17,8% à une concentration de 10^7 unités formant colonies (UFC) sur 6 jours et de 36,7 à 53,4% à une concentration de 10^8 UFC. Dhawan et Joshi (2018) ont observé des taux de mortalité de 30% (10^7 conidies/ml) à 86,66% (10^9 conidies/ml).
En Suisse, aucun produit à base de *B. bassiana* n'est homologué contre les piérides. En revanche, Andermatt Biocontrol vend du Naturalis-L, mais il est pathogène de diptères.

http://nlsenvironnement.canalblog.com/albums/jardins_noiseens_/photos/93979358-p1200449.html

Le bacille de Thuringe est une bactérie Gram-positive qui représente 95% des traitements en lutte microbiologique[5].
La matière active de Bt est la principale matière active des insecticides biologiques, son utilisation en lutte microbiologique se fait sous la forme de bactérie sporulée. L'insecte meurt en ingurgitant la bactérie, qui synthétise des protéines cristallines qui, dans l'intestin, relâchent une toxine nommée δ-endotoxine qui mène à la désintégration de la membrane cellulaire. L'efficacité de ce produit n'est plus à démontrer : les produits commerciaux comme le Delfin®WG atteignent une mortalité de 99,98 % sur *P. brassicae* [6].
Le virus de la granulose infecte le lépidoptère et entraine la déformation du corps de son hôte[7], ce qui le tue ou le rend inapte à attaquer la plante. Il existe peu d'études portant sur la létalité de ce virus.
Des études récentes[9] ajoutent toutes une autre composante à la formulation (protection contre UV, extraits de plante ou insecticide de synthèse) indiquant un potentiel manque de virulence de ce virus. Il en découle qu'aucun produit réellement efficace à base de PbGV n'existe sur le marché actuellement.
Les trois agents décrits ici présentent des formulations, concentrations et virulences différents, mais sont très souvent utilisés séparément. Le fait de les associer peut réduire le risque de développement de résistances chez l'insecte et augmenter le taux de mortalité. Reste à en étudier la viabilité économique.

Bibliographie

ANDERMATT BIOCONTROL, 2022. Naturalis-L. *Andermatt biocontrol* [en ligne]. 2022. [Consulté le 6 janvier 2022]. Disponible à l'adresse : https://www.biocontrol.ch/fr_bc/lutte-contre-les-ravageurs/insecticides-acaricides/naturalis-l

CROOK, Norman E., 1981. A comparison of the granulosis viruses from *Pieris brassicae* and *Pieris rapae.* Virology115(1): 173-181. DOI 10.1016/0042-6822(81)90099-4.

DHAWAN, Manish et JOSHI, Neelam, 2018. Enzymatic comparison and mortality of *Beauveria bassiana* against cabbage caterpillar *Pieris brassicae. Brazilian Journal of Microbiology,* 48: 522-529. DOI http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2016.08.004.

HASAN, Fazil et ANSARI, M. Shafiq, 2011. Effects of different brassicaceous host plants on the fitness of *Pieris brassicae* (L.). Crop Protection, 30(7): 854-862. DOI 10.1016/j.cropro.2011.02.024.

KAUR, Samandeep, KUMAR, Adesh et JOSHI, Neelam, 2017. Bioefficacy of *Bacillus thuringiensis* against cabbage butterfly, *Pieris brassicae.* Journal of Entomology and Zoology Studies, 5(5): 1057-1061.

NEGI, Parmod, VISHVENDRA et KUMAR, Sandeep, 2020. Study the bio-efficacy of some biopesticide formulation against cabbage butterfly *Pieris brassicae* Linn. in mustard. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 9(5): 2694-2697.

PETERS, S. E. O. et COAKER, T. H., 1993. The enhancement of *Pieris brassicæ* (L.) (Lep., Pieridæ) granulosis virus infection by microbial and synthetic insecticides. *Journal of Applied Entomology,* 116(1-5): 72-79. DOI 10.1111/j.1439-0418.1993.tb01169.x.

SOOD, Pankaj, 2018. Effect of botanical extracts on dose and speed of kill of granulosis virus against *Pieris brassicae. Journal of Hill Agriculture*, 9(3): 315. DOI 10.5958/2230-7338.2019.00011.9.

SOOD, Pankaj, MEHTA, Pawan K. et PRABHAKAR, Chandra S., 2013. Effect of UV protectants on the efficacy of *Pieris brassicae* granulovirus. *Biological Agriculture & Horticulture,* 29(2): 69-81. DOI 10.1080/01448765.2013.763449.

Le maïs Sierra Mixe

Vladimir Sciboz, Loic Wigger

En termes de quantité produite et de surface cultivée, le maïs occupe respectivement la première et la seconde place au niveau de la production mondiale de céréales.

En 2019, les surfaces cultivées étaient d'environ 197 millions d'hectares pour une quantité d'environ 1 milliard de tonnes. Le rendement du maïs est fortement corrélé à sa fumure azotée. Pour répondre à cette demande, l'agriculture actuelle dépend fortement des engrais minéraux azotés de synthèse, dont l'utilisation à des impacts environnementaux négatifs. La variété de maïs Sierra Mixe capable de fixer de l'azote atmosphérique découverte au Mexique semble être une piste prometteuse pour une agriculture moins dépendante aux intrants et moins polluante.

Source: https://fr.wikipedia.org/wiki/Fixation_biologique_du_diazote (plus précisement: https://fr.wikipedia.org/wiki/Fixation_biologique_du_diazote#/media/Fichier:Journal.pbio.2006352.g002_cropped.png)

La variété de maïs de Sierra Mixe

Cette variété est caractérisée par une croissance étendue de racines aériennes qui sécrètent une grande quantité de mucilage. Il permet à cette variété de fixer entre 28 et 82 % de l'azote nécessaire à son développement. Le mucilage réunit toutes les conditions favorisant les bactéries symbiotiques, fixatrices d'azote atmosphérique ; il est pauvre en azote, pauvre en oxygène, riche en sucres. Ces polysaccharides particuliers servent de source d'énergie pour la fixation d'azote.
Le transfert d'azote du mucilage à la plante semble être régi par des cycles d'humectation et de dessiccation du mucilage, liés aux pluies.

Des bactéries favorisant la croissance des plantes

Les bactéries du mucilage ont été identifiées par analyse métagénomique. Afin d'estimer le potentiel des bactéries issues du mucilage, plusieurs traits de promoteurs de la croissance des plantes (PGP) ont été recherchés , comme la capacité de fixation d'azote, la désamination de l'ACC comme source d'azote, la biosynthèse d'auxines et la solubilisation des phosphores.
Suite à ces essais, les 16 souches les plus prometteuses ont été sélectionnées pour un essai in vitro et in vivo sur pomme de terres inoculées. En sont ressorti 6 souches qui ont été inoculées ensuite par communautés synthétiques de 3 isolats. Ce sont les isolats de Raoultella, Enterobacter et Rhanella qui ont montré les meilleurs résultats. Inoculées séparément, les souches d'Enterobacter et de Raoultella ont démontré le plus de potentiel, sous régime azoté classique et déficient.

La souche Raoultella BCW-201900 semble être la plus prometteuse du fait qu'elle a fourni, au travers de ces divers essais, un large spectre d'actions promotrices de croissance. Cette souche a augmenté la production de biomasse de pomme de terre in vitro, a favorisé la croissance de pommes de terres inoculées en serre au niveau des tiges, des racines et des tubercules.
Un essai a également été mené afin de déterminer l'efficacité de cette souche inoculée à des plants de maïs conventionnels, soumis à un fort stress azoté. Les sujets inoculés ont démontré une croissance exponentiellement plus rapide que les plants non-inoculés.

Le maïs originaire de la Sierra Mixe serait donc une plante qui pourra potentiellement répondre aux besoins futurs. Les bactéries issues du mucilage pourraient être une nouvelle source de PGP.
De plus, sa capacité à fixer le diazote atmosphérique serait une source génétique prometteuse pour effectuer des croisement avec des variétés de maïs à hauts rendements.

Bibliographie

Bennett, A. B., Pankievicz, V. C. S., & Ané, J.-M. (2020). A Model for nitrogen fixation in cereal crops. *Trends in Plant Science*, 25(3): 226 235. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.12.004

Deynze, A. V., Zamora, P., Delaux, P.-M., Heitmann, C., Jayaraman, D., Rajasekar, S., Graham, D., Maeda, J., Gibson, D., Schwartz, K. D., Berry, A. M., Bhatnagar, S., Jospin, G., Darling, A., Jeannotte, R., Lopez, J., Weimer, B. C., Eisen, J. A., Shapiro, H.-Y., … Bennett, A. B. (2018). Nitrogen fixation in a landrace of maize is supported by a mucilage-associated diazotrophic microbiota. *PLOS Biology,* 16(8): e2006352. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2006352

Higdon, S. M., Pozzo, T., Kong, N., Huang, B. C., Yang, M. L., Jeannotte, R., Brown, C. T., Bennett, A. B., & Weimer, B. C. (2020). Genomic characterization of a diazotrophic microbiota associated with maize aerial root mucilage. *PLOS ONE,* 15(9): e0239677. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239677

Higdon, S. M., Pozzo, T., Tibbett, E. J., Chiu, C., Jeannotte, R., Weimer, B. C., & Bennett, A. B. (2020). Diazotrophic bacteria from maize exhibit multifaceted plant growth promotion traits in multiple hosts. *PLOS ONE,* 15(9): e0239081. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239081

Sheoran, S., Kumar, S., Kumar, P., Meena, R. S., & Rakshit, S. (2021). Nitrogen fixation in maize : Breeding opportunities. T*heoretical and Applied Genetics,* 134(5):, 1263 1280. https://doi.org/10.1007/s00122-021-03791-5

Synthèse sur la lutte microbiologique contre les maladies des agrumes

Miluna Gendre, Mathieu Devaud

Les agrumes sont les fruits parmi les plus produits au monde, dans plus de 137 pays avec une production pouvant excéder 140 millions de tonnes par an. Dans cette industrie, 30 à 50 % des pertes sont dues à des maladies fongiques en post-récolte et les maladies les plus problématiques sont le chancre bactérien (ACC), la chlorose panachée des agrumes (CVC) et la maladie du dragon jaune (HBL). La lutte chimique contre les insectes vecteurs est à ce jour la stratégie la plus efficace et la plus utilisée. La lutte microbiologique utilise des microorganismes vivants comme des bactéries, des champignons ou encore des bactériophages (virus n'infectant que des bactéries) contre les pathogènes des cultures et a l'avantage que ces agents sont potentiellement inoffensifs pour la santé et l'environnement.

Agents de lutte bactériens

Le contrôle biologique à l'aide de bactéries comme *Paenibacillus brasilensis*, *Burkholderia gladioli* pv. *agaricicola, Streptomyces* spp. et *Bacillus subtilis* est déjà considéré comme un outil important dans la lutte contre les maladies des agrumes. Les espèces du genre *Bacillus* sont naturellement présentes dans la rhizosphère et la phyllosphère des Citrus et sont considérées comme bénéfiques pour l'environnement. Ces bactéries peuvent former des endospores et produire de précieux métabolites comme des antibiotiques, des enzymes, des vitamines et des métabolites secondaires qui sont antimicrobiens ou qui peuvent promouvoir la croissance de la plante. Finalement, elles peuvent induire des résistances systémiques et sont aussi compétitives pour l'espace et les nutriments.

Agents de lutte fongiques

Les champignons mycorhiziens ou endophytes peuvent contrôler différents types de maladie grâce à des mécanismes directs ou en stimulant des réponses de défenses de la plante. Par exemple, certaines espèces de *Trichoderma* sécrètent des protéines liées à l'induction de la résistance des plantes chez les agrumes contre le champignon pathogène *Phyllosticta citricarpa*. Une étude récente sur la communauté fongique endophyte de diverses espèces de *Citrus* atteintes de Huanglongbing a révélé plusieurs genres de champignons endophytes et mycorhiziens que toutes avaient en commun, ce qui laisse supposer leur rôle possible en tant que suppresseurs de la maladie. Une autre étude en laboratoire a démontré une activité inhibitrice significative de *Cladosporium cladosporioides* et *Epicoccum nigrum* contre *Liberibacter crescens,* un substitut cultivable de la bactérie associée à la maladie Huanglongbing.

Agents de lutte bactériophages

Ces agents de lutte microbiologique présentent des avantages par rapport aux contrôles chimiques car les cocktails faits sur mesure peuvent cibler des bactéries pathogènes spécifiques et être facilement adaptés à la résistance bactérienne. Dans une étude menée en serre, le traitement des feuilles sur *Citrus paradisi* avec un mélange de bactériophages Cp2, ØXac2005-1, ccØ7 et ccØ13, 24 h avant l'inoculation de *Xanthomonas citri,* a réduit significativement la maladie, aussi efficacement qu'un traitement au cuivre. De plus, l'application au champ d'un mélange de bactériophages, deux fois par semaine, a réduit de manière significative la maladie du chancre bactérien sur *Citrus aurantifolia.*

Conclusion

L'importance agricole et économique de la culture des agrumes dans le monde met en évidence la nécessité de trouver des alternatives saines pour l'environnement et la santé et sans problèmes de résistances. *Pseudomonas fluorescens, P. aeruginosa, Bacillus subtilis, B. amyloliquefaciens* ou *Curtobacterium flaccumfaciens* représentent de bonnes alternatives contre les maladies bactériennes problématiques que sont le CVC, l'ACC et HLB. L'étude du microbiote des agrumes est source d'une bonne diversité d'agents de lutte microbiologique potentiels. Le contrôle avec des agents viraux a encore besoin d'études supplémentaires mais est prometteur. Finalement, l'utilisation de champignons a été hypothétisée et la recherche est en cours.

Sources

Arias, R. S., Sagardoy, M. A., & Van Vuurde, J. W. L. (1999). Spatio-temporal distribution of naturally occurring *Bacillus* spp. and other bacteria on the phylloplane of soybean under field conditions. Journal of Basic Microbiology, 39(5-6): 283-292. https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-4028(199912)39:5/6<283::AID-JOBM283>3.0.CO;2-G

Balogh, B., Canteros, B. I., Stall, R. E., & Jones, J. B. (2008). Control of *Citrus* Canker and *Citrus* Bacterial Spot with bacteriophages. Plant Disease, 92(7): 1048-1052. https://doi.org/10.1094/PDIS-92-7-1048

Blacutt, A., Ginnan, N., Dang, T., Bodaghi, S., Vidalakis, G., Ruegger, P., Peacock, B., Viravathana, P., Vieira, F. C., Drozd, C., Jablonska, B., Borneman, J., McCollum, G., Cordoza, J., Meloch, J., Berry, V., Salazar, L. L., Maloney, K. N., Rolshausen, P. E., & Roper, M. C. (2020). An In vitro pipeline for screening and selection of *Citrus*-associated microbiota with potential anti-"Candidatus Liberibacter asiaticus" properties. Applied and Environmental Microbiology,

86(8):e02883-19. https://doi.org/10.1128/AEM.02883-19

Blauth de Lima, F., Félix, C., Osório, N., Alves, A., Vitorino, R., Domingues, P., da Silva Ribeiro, Rute. T., & Esteves, A. C. (2017). *Trichoderma harzianum* T1A constitutively secretes proteins involved in the biological control of *Guignardia citricarpa*. Biological Control, 106:99-109. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.01.003

Buttimer, C., McAuliffe, O., Ross, R. P., Hill, C., O'Mahony, J., & Coffey, A. (2017). Bacteriophages and bacterial plant diseases. Frontiers in Microbiology, 8:34. https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2017.00034

Chen, K., Tian, Z., He, H., Long, C., & Jiang, F. (2020). Bacillus species as potential biocontrol agents against citrus diseases. Biological Control, 151: 104419. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104419

FAO. (2021). Citrus Fruit statistical compendium 2020 (p. 48).

Ginnan, N. A., Dang, T., Bodaghi, S., Ruegger, P. M., Peacock, B. B., McCollum, G., England, G., Vidalakis, G., Roper, C., Rolshausen, P., & Borneman, J. (2018). Bacterial and fungal next generation sequencing datasets and metadata from Citrus Infected with '*Candidatus Liberibacter asiaticus*'. Phytobiomes Journal, 2(2): 64-70. https://doi.org/10.1094/PBIOMES-08-17-0032-A

Ibrahim, Y. E., Saleh, A. A., & Al-Saleh, M. A. (2017). Management of Asiatic Citrus Canker under field conditions in saudi arabia using bacteriophages and acibenzolar-s-methyl. Plant Disease, 101(5): 761-765. https://doi.org/10.1094/PDIS-08-16-1213-RE

Kering, K. K., Kibii, B. J., & Wei, H. (2019). Biocontrol of phytobacteria with bacteriophage cocktails. Pest Management Science, 75(7): 1775-1781. https://doi.org/10.1002/ps.5324

Mohammadipour, M. M., Mousivand, M. M., Jouzani, G. S. J. S., & Abbasalizadeh, S. A. (2009). Molecular and biochemical characterization of Iranian surfactin-producing Bacillus subtilis isolates and evaluation of their biocontrol potential against *Aspergillus flavus and Colletotrichum gloeosporioides.* Canadian Journal of Microbiology, 55(4):395-404. https://doi.org/10.1139/W08-141

Porat, R., Daus, A., Weiss, B., Cohen, L., Fallik, E., & Droby, S. (2000). Reduction of postharvest decay in organic citrus fruit by a short hot water brushing treatment. Postharvest Biology and Technology, 18(2): 151-157. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00065-4

Poveda, J., Roeschlin, R. A., Marano, M. R., & Favaro, M. A. (2021). Microorganisms as biocontrol agents against bacterial citrus diseases. Biological Control, 158: 104602. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104602

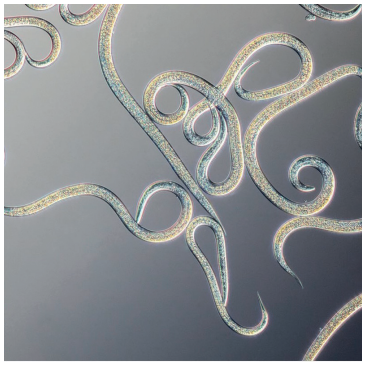
Lutte microbiologique contre la limace Deroceras reticulatum

Emma Baumgartner, Lisa Gindroz

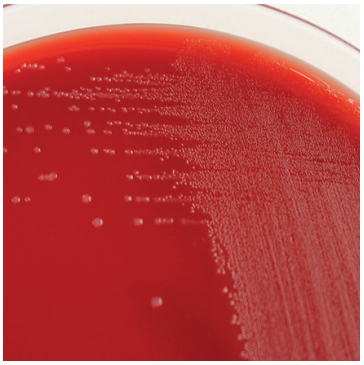
Deroceras reticulatum est une espèce de limace parmi les dizaines existantes, connue comme étant l'espèce la plus redoutable. Ces petites limaces grises mesurent de 3,5 à 5 centimètres. Elles ont un cycle faisant deux générations par année dans les bonnes conditions. Elles vivent préférablement par temps humide et frais. Majoritairement la nuit si les conditions sont favorables.

Actuellement, les moyens de lutte contre les limaces sont plutôt limités et recourent à des molécules chimiques. Il existe de nombreux molluscicides de contact qui se diluent dans l'eau et s'appliquent sur toute la plante. La forme de molluscicides la plus utilisée est celle des appâts granulés. Il existe des granulés à base de métaldéhyde ou de phosphate ferrique. Le métaldéhyde pose problème car cette molécule contamine les prédateurs des limaces, tel que les oiseaux, les hérissons, les renards ou encore les chats. Contrairement au phosphate ferrique qui est un produit utilisé en agriculture biologique. Les granulés ont été améliorés afin d'être résistants aux conditions humides préférées des limaces et permettent une éradication propre des individus. La molécule bloque leur système digestif et celles-ci s'enfouissent dans le sol pour y périr. Différentes méthodes naturelles ont prouvé avoir un impact positif sur le contrôle de la population de ces limaces mais nécessitent un temps d'installation élevé, des passages fréquents ce qui décourage souvent les agriculteurs.

limace *Deroceras reticulatum* © photo C.Quintin



Nématode parasitoïde *Phasmarhabditis Hermaphrodita*



©https://blog.microbiologics.com/environmental-isolate-case-file-moraxella-osloensis/

Les limaces peuvent causer de gros dégâts sur les cultures. Elles s'attaquent surtout aux jeunes plants, aux semis, voire aux graines, ce qui compromet la survie ou le développement de la plantule selon la gravité de l'attaque. Elles s'attaquent aussi volontiers aux parties aériennes des végétaux des légumes-feuilles causant des trous, déchirures ou lambeaux. Il est donc important pour un agriculteur de pouvoir garder la population de limaces sous le seuil de nuisibilité.

Des études ont été menées sur l'utilisation de nématodes *Phasmarhabditis hermaphrodita* en symbiose avec des bactéries nocives pour la limace grise afin de trouver des alternatives aux produits de lutte chimique existants. Ces nématodes peuvent contenir jusqu'à 70 espèces de bactéries dans leurs intestins. Plusieurs bactéries comme *Pseudomonas fluorescens, Aeromonas hydrophila* ou encore *Moraxella osloensis* ont été isolées pour étudier leurs effets sur la croissance des nématodes et la pathogénicité sur *D. reticulatum*. La bactérie *Moraxella osloensis* est la plus étudiée et la mieux connue dans ses interactions avec le nématode ou la limace grise.

Le seul produit commercialisé de lutte microbiologique pour lutter contre les limaces utilise des nématodes contenant la bactérie *M. osloensis.* Cette bactérie ne péjore pas la croissance des nématodes, elle assure une bonne efficacité du produit et il est possible de la produire en masse. Avec les bactéries *P. fluorescens et A. hydrophila* malgré le fait qu'elles soient très pathogènes sur *D. reticulatum,* la croissance des nématodes n'est pas satisfaisante pour obtenir une bonne efficacité de produit et une production de masse régulière. Des souches de nématodes sauvages ont été trouvées comme étant très pathogènes mais les bactéries n'ont pas été déterminées à cause du manque de recherche à ce sujet.

Le nématode va infecter la limace en la trouvant grâce à son mucus et ses selles, puis va s'infiltrer à l'intérieur par la cavité palléale. Les bactéries présentes dans les nématodes vont alors infecter *D. reticulatum* et provoquer une septicémie par réaction aux endotoxines. La limace cessera de se nourrir et mourra dans un laps de temps allant de 4 à 21 jours. Plus la dose de nématodes est élevée (dose recommandée pour le produit Nemaslugs 10 9/ha), plus le taux de mortalité des limaces est élevé.

Cette méthode de lutte est prometteuse mais demande encore beaucoup de recherche. Actuellement, les moyens d'utiliser cette lutte dans de grandes parcelles sont encore limités

notamment à cause du prix élevé (140 CHF / ha)
et de la difficulté de stockage du produit.

Bibliographie

Terre Vivante. 11 techniques naturelles anti-limaces . Consulté le 2 février 2022. https://www.terrevivante.org/contenu/11-techniques-naturelles-antilimaces/.

An, R., S. Sreevatsan, et P. S Grewal. *Moraxella osloensis* gene expression in the slug host Deroceras reticulatum. *BMC Microbiology* 8(1): 19. https://doi.org/10.1186/1471-2180-8-19.

Andrus, P., et R. Rae. Development of *Phasmarhabditis hermaphrodita* (and members of the *Phasmarhabditis genus*) as new genetic model nematodes to study the genetic basis of parasitism . *Journal of Helminthology* 93(3)): 319 331. https://doi.org/10.1017/S0022149X18000305.

Barua, A., C. D. Williams, et J. L. Ross. A literature review of biological and bio-rational control strategies for slugs: current research and future prospects . I nsects 12(6): 541. https://doi.org/10.3390/insects12060541.

Cutler, J., et R. Rae. Pathogenicity of wild and commercial *Phasmarhabditis hermaphrodita* exposed to the pestiferous slug *Deroceras Invadens*. Journal of Invertebrate Pathology ,174: 107435. https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107435.

Frank, T.. Slug damage and numbers of the slug pests, Arion *lusitanicus* and *Deroceras reticulatum*, in oilseed rape grown beside sown wildflower strips . Agriculture, Ecosystems & Environment 67(1): 67 78. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(97)00108-4.

Iglesias, J., et B. Speiser. Distribution of Arion hortensis S.S, and Arion distinctus in northern Switzerland . Journal of Molluscan Studies 67: 209 14. https://doi.org/10.1093/mollus/67.2.209.

Kienlen, J. C., C. Gertz, P. Briard, G. Hommay, et J. Chaufaux. Research on the toxicity of various *Bacillus thuringiensis* Berliner strains to three species of slugs. Agronomie 16(6): 347 53. https://doi.org/10.1051/agro:19960602.

Syngenta France. Limaces , 2 novembre 2020. https://www.syngenta.fr/traitements/limaces.

Limaces : de redoutables ravageurs : Bayer-Agri . Consulté le 9 novembre 2021. https://www.bayer-agri.fr/cultures/limaces-de-redoutables-ravageurs_1039/.

Limaces Ravageurs | Syngenta France . Consulté le 2 février 2022. https://www.syngenta.fr/traitements/limaces.

Nématode contre les limaces - Nemaslug® - BASF SE . Consulté le 2 février 2022. https://www.agriexpo.online/fr/prod/basf-se/product-182661-81359.html.

Recombinant conotoxin, txvia, produced in yeast has insecticidal activity | Elsevier Enhanced Reader . Consulté le 22 décembre 2021. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2011.05.009.

Richards, E. H., D, DeMarzo, G. R. Port, M. P. Dani, et K. F.A. Walters. Effects of the nematode *Phasmarhabditis hermaphrodita* and of venom from the endoparasitic wasp *Pimpla hypochondriaca* on survival and food consumption of the pest slug *Deroceras reticulatum*; implications for novel biocontrol strategies . Pest Management Science 64(7): 711 19. https://doi.org/10.1002/ps.1546.

Slug Bait - Metaldehyde vs Iron Phosphate - Garden Myths . Consulté le 2 février 2022. https://www.gardenmyths.com/slug-bait-metaldehyde-iron-phosphate/.

Tan, L., et P. S. Grewal. Endotoxin activity of *Moraxella osloensis* against the grey garden slug, *Deroceras reticulatum* . Applied and Environmental Microbiology 68(8): 3943 47. https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3943-3947.2002.

Pathogenicity of *Moraxella osloensis*, a bacterium associated with the nematode *Phasmarhabditis hermaphrodita*, to the slug *Deroceras reticulatum* . Applied and Environmental Microbiology 67(11): 5010 16. https://doi.org/10.1128/AEM.67.11.5010-5016.2001.

Wilson, M. J., D. M. Glen, S. K. George, et J. D. Pearce. Selection of a bacterium for the mass production of *Phasmarhabditis Hermaphrodita* (Nematoda : *Rhabditidae*) as a biocontrol agent for slugs , s. d., 7.

Wilson, M. J., D. M. Glen, G. M. Hamacher, et J. U. Smith. A model to optimise biological control of slugs using nematode parasites . Applied Soil Ecology 26(3): 179 91. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.01.005.

VI

Lutte microbiologique avec Trichoderma asperellum & Trichoderma harzianum contre Verticillium dahliae

Marwa Abdoulaye, Mélissa Rose

Verticillium dahliae est un ascomycète phytopathogène qui cause la maladie de verticilliose. Cette maladie provoque des symptômes de flétrissement, de jaunissement puis de nécrose des feuilles, voire de défoliation avec certaines souches de Verticillium. Des brunissements des vaisseaux des rameaux peuvent être également observés. Les principales cultures sensibles sont les tomates, les oliviers, les pommes de terre, les fraises.

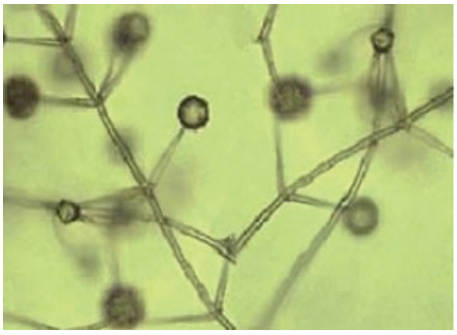
Biocontrôle par T. asperellum & T. harzianum

Les champignons du genre Trichoderma sont des organismes très utilisés en tant qu'agent biocontrôle. Leur efficacité contre *Verticillium dahliae* a été démontrée lors d'essais scientifiques avce *T. asperellum* sur les oliviers et *T. harzianum* sur les pommes de terre et les fraisiers.

Mécanismes de luttes

Différentes stratégies de luttes ont été mise en place par *Trichoderma* pour inhiber la croissance du pathogène :

• Mécanisme de compétition pour l'espace et les éléments nutritifs avec un développement rapide. *Trichoderma* opte pour une stratégie de surcroissance directe sur l'agent pathogène en prenant le dessus.



- Mycoparasitisme
- Antibiose par sécrétion d'antibiotiques :
  - Dégradation des parois cellulaires via des enzymes extracellulaires. L'antagoniste *T. harzianum* va sécréter des enzymes telle que la chitinase, la cellulase et la bêta glucanase qui engendrent la lyse cellulaire du pathogène.
  - Pour *T. asperellum,* il semblerait que de petites molécules aient un effet plus important que les grandes sur l'inhibition de *Verticillium.* Les deux champignons ont été superposés avec dans un cas une feuille de cellophane et dans un autre cas une membrane de cellulose qui ne laisse passer que les molécules au poids moléculaire faible (<4kDa). La membrane montrait un taux d'inhibition plus élevé. Les grosses molécules pourraient favoriser le taux de survie du ravageur.

Promotion de la croissance et des défenses des plantes

L'utilisation de *T. asperellum* augmente la taille des rameaux d'oliviers. Ce constat a été démontré avec la souche avec le taux de colonisation de la rhizosphère la plus élevée (T25). Les oliviers testés avec ont pu croître malgré la maladie. T. asperellum permet de réduire les dégâts (rabougrissement) causés par la verticilliose.

Efficacité sur la verticilliose

L'efficacité in vivo varie suivant les deux espèces de *Trichoderma* et les souches testées. Pour *T. harzianum*, il y a un effet significatif sur l'incidence de la maladie sur les pommes de terre et les fraises. *T. asperellum* n'a pas eu un effet aussi significatif avec les souches testées.
On remarque cependant une diminution dans la gravité des symptômes par rapport au contrôle sur les oliviers. Les effets diffèrent évidemment suivant les espèces/souches testées qui ne produisent pas forcément les mêmes métabolites avec les mêmes efficacités. Cela peut dépendre également du pH et des conditions environnementales du milieu.
La lutte avec *Trichoderma* contre le *Verticillium* doit davantage être étudiée pour comprendre les mécanismes de luttes et leur application pratique sur le terrain.
D'autres méthodes peuvent être également explorées telle que la lutte intégrée contre les ravageurs, qui combine des moyens biologiques et chimiques, pouvant servir d'outil utile pour contrôler *Verticillium dahliae,* ainsi que d'autres champignons phytopathogènes du sol.

Bibliographie

HERMOSA, Rosa et JIMÉNEZ-DÍAZ, Rafael M., 2016. *Trichoderma asperellum* is effective for biocontrol of *Verticillium* wilt in olive caused by the defoliating pathotype of *Verticillium dahliae.* Crop Protection, 88: 45 52. DOI 10.1016/j.cropro.2016.05.009.

MIRMAJLESSI, Seyed Mahyar, MAND, Marika, NAJDABBASI, Neda, LARENA, Inmaculada et LOIT, Evelin, 2016. Screening of native *Trichoderma harzianum* isolates for their ability to control *Verticillium* wilt of strawberry. Zemdirbyste-Agriculture, 103(4): 397 404. DOI 10.13080/z-a.2016.103.051.

ORDENTLICH, Arie, NACHMIAS, Abraham et CHET, I., 1990. Integrated control of *Verticillium dahliae* in potato by *Trichoderma harzianum* and captan. Crop Protection, 9(5): 363 366. DOI 10.1016/0261-2194(90)90008-U.

VII

Groupe fonctionnel Bacillus amyloliquefaciens

Intérêts agronomiques

Clara Lugon, Marin Tromme

Bacillus amyloliquefasciens (Ba) est un bacille aérobie facultatif à flagelle, Gram positif, à endospores. Différentes souches de Bacillus siamensis, B. velezensis, B. amyloliquefaciens subsp. amyloliquefaciens) ont été regroupées dans le groupe opérationnel B. amyloliquefaciens (OGBa), puisque partageant la quasi-totalité des gènes (> 95%) (figure 1). Elles possèdent les propriétés de suppression de la croissance d'agents pathogènes surtout fongiques (Ralstonia solanacearum, Pythium spp., Phytophthora spp., Rhizoctonia solani, Botrytis cinerea, Fusarium, etc par sécrétion de métabolites secondaires (lipopeptides, enzymes) dans la rhizosphère et de stimulation de la croissance des plantes . Utilisables en agriculture biologique, ces bactéries connaissent un succès croissant dans le secteur agricole et industriel. En suisse elles sont commercialisées sous différents noms (Hélès, Amylo-X).

Biostimulation

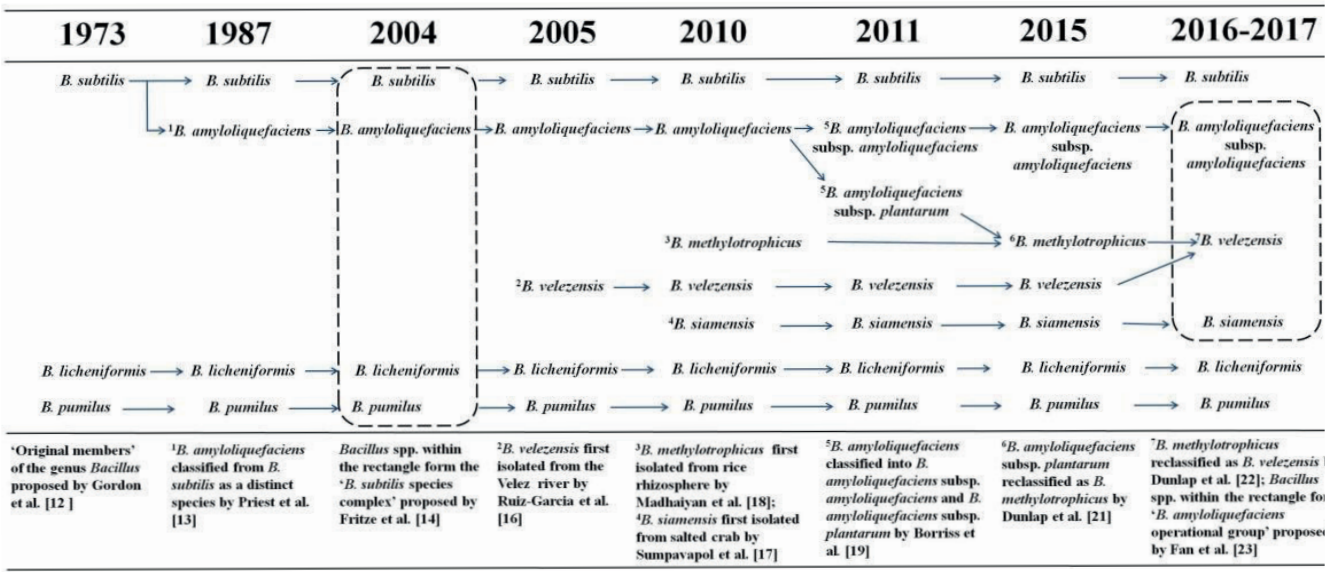
Une culture dans le sol, milieu hautement compétitif, a un avantage si elle peut facilement capter des nutriments et investir l'espace. Les lipopeptides et composés volatiles (acétoïne et 2,3-butanediol) sécrétés par ces bactéries permettent de solubiliser le phosphate et favoriser la fixation de l'azote. Des sidérophores sont produits afin de chélater le fer. C'est un atout face à la compétition pour les nutriments dans le sol. *B velezensis (Bv)* améliore par exemple la nodulation du soja par *Bradyrhizobium.* De même la sécrétion d'auxines (surtout l'acide acétique 3-indole) par Bv (FZB42) permet la stimulation de la croissance des racines.

Agent de biocontrôle

Les mécanismes complexes des bactéries du groupe'*OGBa* réduisent les risques de résistances sous la pression de la sélection, en faisant ainsi des candidats intéressants dans la lutte contre les agents pathogènes.
La production de lipopeptides, en particulier la fengycine et la surfactine, montrent des effets inhibiteurs de la production de mycotoxines et des dommages sur les hyphes de conidies de nombreux champignons pathogènes. La fengycine semble interagir avec les stérols et les phospholipides de la membrane des cellules fongiques, altérant sa structure et sa perméabilité. Par exemple, les dommages causés sur les membranes

plasmiques et parois des cellules des hyphes et conidies de *F. graminearum* et causeraient une lyse des cellules de *Monilinia fructicola.* Des enzymes telles que la β-1,3-1,4-glucanase et la chitinase ont aussi montré des effets sur l'activité de différents organismes phytopathogènes.
Certaines souches ne montrent pas d'efficacité directe sur les agents pathogènes, mais induisent des résistances systémiques chez la plante par augmentation de l'activité d'enzymes de défense comme la polyphénol oxydase ou la peroxidase, ainsi qu'une plus grande expression de certains gènes de défense et une amélioration de la diversité microbienne de la rhizosphère, renforçant la protection face à différents organismes pathogènes.
Un effet synergique entre des souches de Ba et Bv et des fongicides de synthèse est possible. Par exemple la souche TA-1 de Bv a une meilleure efficacité antifongique couplée avec le fluopimomide qu'appliquée séparément.

Les nombreuses applications possibles, font des bactéries de l'OGBa ont un au potentiel agronomique certain (résistance aux stress abiotiques, gestion de la fertilité des sols, réduction de l'emploi de pesticides de synthèse, etc.).



Bibliographie

- CHENG, Xingkai, JI, Xiaoxue, GE, Yanzhen, LI, Jingjing, QI, Wenzhe et QIAO, Kang, 2019. Characterization of antagonistic *Bacillus methylotrophicus* isolated from rhizosphere and its biocontrol effects on maize stalk rot. Phytopathology, 109(4): 571 581. DOI 10.1094/PHYTO-07-18-0220-R.

-GUO, Qiao, LI, Yulong, LOU, Yi, SHI, Mengdi, JIANG, Yingying, ZHOU, Jinhua, SUN, Yifan, XUE, Quanhong et LAI, Hangxian, 2019. *Bacillus amyloliquefaciens* Ba13 induces plant systemic resistance and improves rhizosphere microecology against tomato yellow leaf curl virus disease. *Applied Soil Ecology,* 137: 154 166. DOI 10.1016/j.apsoil.2019.01.015.

-HANIF, Alvina, ZHANG, Feng, LI, Pingping, LI, Chuchu, XU, Yujiao, ZUBAIR, Muhammad, ZHANG, Mengxuan, JIA, Dandan, ZHAO, Xiaozhen, LIANG, Jingang, MAJID, Taha, YAN, Jingyuau, FARZAND, Ayaz, WU, Huijun, GU, Qin et GAO, Xuewen, 2019. Fengycin produced by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 inhibits *Fusarium graminearum* growth and mycotoxins biosynthesis. *Toxins,* 11(5) 295. DOI 10.3390/toxins11050295.

-JI, Xiaoxue, LI, Jingjing, MENG, Zhen, ZHANG, Shouan, DONG, Bei et QIAO, Kang, 2019. Synergistic effect of combined application of a new fungicide fluopimomide with a biocontrol agent *Bacillus methylotrophicus* TA-1 for management of gray mold in tomato. Plant Disease. 103(8) 1991 1997. DOI 10.1094/PDIS-01-19-0143-RE.

-XU, Shengjia, WANG, Yanxia, HU, Junqiang, CHEN, Xinran, QIU, Yufeng, SHI, Jianrong, WANG, Gang et XU, Jianhong, 2021. Isolation and characterization of *Bacillus amyloliquefaciens* MQ01, a bifunctional biocontrol bacterium with antagonistic activity against *Fusarium graminearum* and biodegradation capacity of zearalenone. *Food Control,* 130 : 08259. DOI 10.1016/j.foodcont.2021.108259.

-TORRES, Marta, LLAMAS, Inmaculada, TORRES, Borja, TORAL, Laura, SAMPEDRO, Inmaculada et BÉJAR, Victoria, 2020. Growth promotion on horticultural crops and antifungal activity of *Bacillus velezensis* XT1. *Applied Soil Ecology,* 150 :103453. DOI 10.1016/j.apsoil.2019.103453.

-NGALIMAT, Mohamad Syazwan, YAHAYA, Radin Shafierul Radin, BAHARUDIN, Mohamad Malik Al-adil, YAMINUDIN, Syafiqah Mohd, KARIM, Murni, AHMAD, Siti Aqlima et SABRI, Suriana, 2021. A Review on the biotechnological applications of the operational group *Bacillus amyloliquefaciens. Microorganisms,* 9(3): 614. DOI 10.3390/microorganisms9030614.

-RABBEE, Muhammad Fazle, ALI, Md Sarafat, CHOI, Jinhee, HWANG, Buyng Su, JEONG, Sang Chul et BAEK, Kwang-hyun, 2019. B*acillus velezensis:* a valuable member of bioactive molecules within plant microbiomes. Molecule, 24(6): 1046. DOI 10.3390/molecules24061046.

-ADENIJI, Adetomiwa Ayodele, LOOTS, Du Toit et BABALOLA, Olubukola Oluranti, 2019. *Bacillus velezensis:* phylogeny, useful applications, and avenues for exploitation. *Applied Microbiology and Biotechnology,* 103(9): 3669 3682. DOI 10.1007/s00253-019-09710-5.

-MYO, Ei Mon, LIU, Binghua, MA, Jinjin, SHI, Liming, JIANG, Mingguo, ZHANG, Kecheng et GE, Beibei, 2019. Evaluation of *Bacillus velezensis* NKG-2 for bio-control activities against fungal diseases and potential plant growth promotion. *Biological Control,* 134 : 23 31. DOI 10.1016/j.biocontrol.2019.03.017.