

Du sucre pour protéger les plantes ?

Alors que des sucres sont naturellement présents à la surface des feuilles, appliqués à très faible dose sur une plante ils sont capables d'induire une résistance de la plante à la ponte d'insectes. Des essais sur plantes de maïs ont permis d'induire une résistance à la pyrale par l'application du sucre sur une seule feuille. Une résistance a été également observée sur des pommiers en vergers commerciaux contre le carpocapse. Ce concept très prometteur étendu à d'autres cultures et bio-agresseurs permettrait de réduire l'utilisation de produits de protection des plantes. | par Sylvie Derridj (Inra)



P. THIEBEAU

partie ces molécules et en produisent de nouvelles et ainsi participent aussi à la composition biochimique de la surface des plantes. Celle-ci est assez caractéristique d'une espèce végétale. Certains groupes de composants biochimiques dont les sucres (simples ou sucres alcools) constituent à la surface des plantes des signaux de reconnaissance par les organismes et en particulier par des insectes lépidoptères pour y déposer leurs œufs.

Induction de résistances de la plante en conditions semi-contrôlées

En appliquant à la surface des feuilles des molécules capables de pénétrer dans la plante, certaines induisent des réactions en chaîne qui aboutissent à des systèmes de défenses vis-à-vis d'un bio-agresseur. La plante est alors dans un état qui lui permet d'exercer des moyens de défenses exacerbés lors de l'attaque. La surprise a été qu'appliqués sur une seule feuille aux doses de 0.1 à 100ppm (10ppm = 1g pour 100 litres), les sucres peuvent induire une résistance systémique de la plante de maïs à la ponte de pyrale c'est-à-dire *avant l'attaque* par les chenilles du ravageur⁵. Celle-ci se manifeste par une réduction des pontes de 30% à 43% selon le sucre sur toute la plante. Solubles dans l'eau en solution aqueuse, ils traversent en quelques minutes la cuticule foliaire¹¹. Appliqués *le matin*, ils constituent un signal pour la plante. La stimulation

Les sucres solubles se retrouvent à la surface des feuilles comme d'autres molécules issues du fonctionnement de la plante (métabolites) qui circulent dans l'espace intercellulaire (apoplasme) et traversent la couche externe qui recouvre les parties aériennes (cuticule)⁴. Leurs quantités sont faibles (nanogramme par cm²) et sont liées à la perméabilité cuticulaire de l'espèce végétale ou de l'organe et suivent la dynamique de leur biosynthèse dans la plante. Des sucres solubles tels que le D-fructose, D-glucose et saccharose (D-fructose+D-glucose) sont produits en quantités qui varient suivant leur cycle de fabrication dans



INRA

la plante, sous l'action de la lumière via la photosynthèse. Les quantités sont les plus faibles la nuit et remontent progressivement jusqu'à leur maximum entre 12 et 15 heures solaires. Des micro-organismes non pathogènes vivent à la surface des plantes. Ils utilisent en

Ci-dessus, larve de la Pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis* L.).

Ci-contre, solution de sucre pulvérisée sur feuilles de maïs.

de voies de signalisation de systèmes de défense (acides jasmoniques et protéines de résistances) a été observée sur la tomate 6 heures après leur application². Les résistances induites peuvent s'exprimer entre 3 et 20 jours selon la plante et le bio-agresseur. Chez le mildiou de la vigne et la pyrale du maïs, elle se manifeste respectivement entre 15 et 20 jours après l'application foliaire du sucre.

Les analyses biochimiques d'un grand nombre de métabolites hydrosolubles (métabolome¹) dans les tissus et à la surface des feuilles non pulvérisées par le sucre, montrent que l'application du D-fructose à la dose de 10 ppm sur une seule feuille de maïs induit des changements systémiques dans les tissus et à la surface⁵. Il faut noter que :

les sucres solubles ne sont pas modifiés par ce traitement ni à la surface ni dans les tissus foliaires.

les quantités appliquées sont celles que l'on trouve en moyenne au cours de la journée à la surface des plantes ;

Il s'agit ici d'un système d'alerte par signalisation extrêmement précoce puisqu'il démarre dès la surface de la plante. Sommes-nous en présence d'un mécanisme naturel d'autoprotection présent dans toutes les plantes⁹ que l'on met en route par des applications artificielles de sucres naturellement présents, mais en déphasage avec le cycle naturel et qui provoqueraient ainsi un stress ? Les inductions ne seraient efficaces

contre un bio-agresseur que dans des conditions particulières par exemple : coïncidences spatio-temporelles entre la réceptivité de l'espèce végétale à l'induction et l'attaque du bio-agresseur ? Transfert du concept en verger contre le carpocapse

Nous avons ici un système d'induction de résistance avec des effets *partiels* sur des bio-agresseurs⁷. Celui-ci s'inscrit dans l'éventail des actions des substances élicitrices (=déclencheuses de métabolismes) de défenses naturelles (SDN). Cela peut permettre de réduire les quantités de produits phytosanitaires en agriculture conventionnelle et biologique. De nombreuses difficultés sont à affronter pour aboutir à l'utilisation en agriculture de ces molécules. La plus importante est le transfert des effets observés en laboratoire ou conditions semi-contrôlées aux conditions agronomiques, beaucoup plus complexes. Une plante en milieu agronomique est élicitée par les facteurs biotiques et abiotiques de stress et par certains produits utilisés pour la culture et en particulier sa protection¹². Des interactions entre les voies de signalisation élicitées par ces facteurs et celles par les sucres sont possibles. Elles interagissent aussi avec les hormones végétales. Elles peuvent avoir entre elles des effets antagonistes, synergistes ou neutres.

Le concept observé en serre d'inductions de la résistance du maïs à la pyrale par applications d'infra doses de sucres a été

- 1 Le concept de métabolome fait référence à l'ensemble des métabolites contenus dans un système biologique donné.
- 2 Eff: efficacité par rapport au témoin non traité selon la formule de Abbott. Efficacité = $(\text{PopTNT} - \text{PopModalité}) / \text{PopTNT}$
- 3 Insecticide qui agit en tant que régulateur de croissance de l'insecte par son action mimétique de l'hormone juvénile

transféré en vergers de pommiers contre le carpocapse. Utilisés seuls sur 5 ans dans plusieurs pays et sur différentes variétés de pommiers, le saccharose ou le D-fructose appliqués aux doses de 10 et 100 ppm avec 1000 à 1200l / ha, ont une efficacité Abbott² ramenée au témoin non traité qui varie de 20 à 60% (moyenne : $40\% \pm 16\%$)⁶. Leur addition aux insecticides chimiques ou biologiques permet en moyenne de faire progresser les efficacités pratiques des produits de 30% avec des gains pouvant monter dans certains cas à 65%. L'amélioration des effets du fénoxycarbe³ s'est montrée par contre assez faible.

Un réseau expérimental en conditions agronomiques

Les effets positifs des applications de sucres en verger contre le carpocapse et leurs adéquations avec certaines exigences en agriculture nous ont encouragés à tester leur utilisation dans d'autres cultures contre différents bio-agresseurs. En effet, les sucres sont de petites molécules qui, en solution aqueuse, traversent sans adjuvants la cuticule. Ils ne persistent pas à la surface et pénètrent en quelques heures dans la plante. Ils ne sont pas toxiques et ne semblent pas induire la biosynthèse de métabolites dits secondaires qui pourraient être toxiques ou modifier la qualité gustative du produit (maïs, pommes). Ils ne sont pas persis-



LA STIMULATION DES DÉFENSES DES PLANTES VISE LE MÊME PRINCIPE QUE LA VACCINATION : ACTIVER LES DÉFENSES NATURELLES AVANT CONTAMINATION PAR L'AGENT INFECTIEUX. LA PLANTE EST MISE EN CONTACT PRÉVENTIVEMENT AVEC UNE MOLÉCULE CAPABLE D'ACTIVER LES DÉFENSES NATURELLES VÉGÉTALES (ÉLICITRICE DE DÉFENSES NATURELLES).



tants dans l'environnement et sont vite dégradés. Ils n'ont pas d'action néfaste sur la plante, ils augmentent même sa croissance (tige et racines). Économiquement, ils sont facile à synthétiser et peu onéreux. Enfin leur utilisation en agronomie s'intègre facilement dans les parcours culturaux sans trop augmenter les manutentions et les coûts.

Ces avantages et l'urgence de trouver des moyens de réduire les pesticides et la complexité des mécanismes mis en jeux⁸ et¹⁰, nous ont incités à mettre en place sans les connaître totalement, un réseau expérimental de 2012 à 2014. Avec un cofinancement de l'ONEMA, nous testons en conditions agronomiques les effets des applications des sucres solubles seuls et associés aux produits dont il faut réduire les quantités dans des cultures maraîchères et fruitières. Ainsi notre tâche est de déterminer parmi les trois sucres celui dont les effets sont les meilleurs, de définir sa dose et la fréquence la plus efficace et la plus adaptée à l'itinéraire cultural, les effets des associations de produits, les variations possibles entre variétés et la possibilité de renforcer des résistances variétales, et les effets sur des organismes non ciblés. Des résultats préliminaires encourageants ont été obtenus en culture de vigne contre le mildiou et la réduction des quantités de cuivre¹ et en culture de melon contre l'oïdium et la pyrale pour réduire les quantités de soufre⁶. ■



De haut en bas, dégât de la chenille du carpocapse, larve et adulte.

POUR EN SAVOIR PLUS

1. ARNAULT I., FURET A., CHOVELON M., GOMEZ C., DERRIDJ S. 2013: Reducing the amounts of copper in vineyards against *Plasmopara viticola* by the use of a low dose of D-fructose. 6th international meeting IOBC/WPRS Working group «induced resistances in plants against insects and diseases». Avignon, France, 10-13 June 2013 (Sous presse)
2. BIRCH ANE, SHEPHERD T., HANCOCK R., GOSZOK K. 2009: Understanding sugar sensing in induced plant defence and stress tolerance; In: Proceedings of the 25th meeting of the International Society of Chemical Ecology, 23-27 August 2009, Neuchatel, Switzerland, 230.
3. CHO Y-H, YOO S-D (2011) Signaling role of fructose mediated by FINS1/FBP in *Arabidopsis thaliana*. *PLoS Genet* 7(1): e1001263. doi:10.1371/journal.pgen.1001263.
4. DERRIDJ S., WU B.R., STAMMITTI L., GARREC J.P, DERRIEN A. 1996: Chemicals on the leaf surface, information about the plant available to insects. *Entomol. Exp. et Applicata* 80, 197-201.
5. DERRIDJ S., PRISCA P., COUZI P., ARNAUD I., AUGER J., 2007: Modifications of *Ostrinia nubilalis* Hbn and *Cydia pomonella* egg laying by foliar application of sucrose. Joint International Workshop on "PR proteins" and induced resistance against pathogens and insects. May 2007, Doorn, Netherlands.
6. DERRIDJ, S., ARNAULT, I., LOMBAKIA, N., FERRE, E., GALY, H., LAMBION, J. & AUGER, J 2011: Les sucres soluble utilisés comme inducteurs de résistance de la plante aux bio-agresseurs. 4^e Conférence Internationale sur les Méthodes Alternatives en Protection des Cultures. Lille, France, 8-10 mars 2011, 382-387.
7. DERRIDJ S., ELAD Y., BIRCH ANE, 2012. Sugar signaling and a new way for vegetable and fruit induced resistance against insects, pathogens and nematodes. 5th international meeting IOBC/WPRS Working group «induced resistances in plants against insects and diseases». Granada, Spain, 12-16 May 2009, 127. <http://www.fvccce.uji.es/abstractbook.pdf>.
8. FUJITA M., FUJITA Y., NOUTOSHI Y., TAKAHASHI F., NARUSAKA Y., YAMAGUCHI-SHINOZAKI K. AND SHINOZAKI K. 2006: Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the points of convergence in the stress signaling networks. *Current Opinion in Plant Biology* 9, 436-442
9. HEIL M., IBARRA-LACLETTE E., ADAME-ALVAREZ R. M., MARTINEZ O., RAMIREZ-CHAVEZ E., MOLINA-TORRES J., HERRERA-ESTRELLA L. 2012: How plants sense wounds: Damaged-Self Recognition is based on plant-derived elicitors and induces octadecanoid signaling. *PLoS ONE* 7(2): e30537. doi:10.1371/journal.pone.0030537
10. MOGHADDAM M. R. B. AND VAN DEN ENDE W. 2012: Sugars and plant innate immunity. *Journal of Experimental Botany*, 63, 11, 3989-3998.
11. STAMMITTI, L., GARREC, J.P & DERRIDJ, S 1995: Permeability of isolated cuticles of *Prunus laurocerasus* to soluble carbohydrates. *Plant physiol. Biochem.* 33, 3, 319-326.
12. WALTERS D. R. 2009: Are plants in the field already induced? Implications for practical disease control. *Crop Protection* 28, 459-465