

Utilisation de micro-doses de sucres en protection des plantes.

Arnault I.¹, Bardin M.², Ondet S.³, Furet A.⁴, Chovelon M.³, Kasprick A.-C.⁵, Marchand P.⁶, Clerc H.⁷, Davy M.⁸, Roy G.⁹, Romet L.¹⁰, Auger J.¹¹, Mançois A.¹², Derridj S.¹³

¹ CETU Innophyt, Université de Tours, UFR Sciences et Techniques, avenue Monge, 37200 Tours

² INRA, UR 407 de pathologie végétale, Domaine Saint-Maurice - BP94, 84143 Montfavet

³ GRAB, 255 chemin de la Castelette, 84911 Avignon cedex 9

⁴ Adabio, 2 rue du Dr Veyrat, 73800 Montmelian

⁵ Chambre d'agriculture d'Indre et Loire, 38 rue Auguste Fresnel, 37171 Chambray les Tours

⁶ ITAB, 149 rue de Bercy, 75595 Paris Cedex

⁷ Invenio, domaine de lalande, 47110 Livrade sur Lot

⁸ Sileban, 19 route de Cherbourg, 50760 Gatteville le Phare

⁹ Station expérimentale LCA, Le Riou - Route de Cellettes, 41250 Tour-en-Sologne

¹⁰ CAPL, 92 Rue Joseph Vernet, 84000 Avignon

¹¹ IRBI UMR CNRS 7261, UFR des sciences et techniques, avenue Monge, 37200 Tours

¹² Lycée Viticole d'Amboise, 46 avenue Emile Gounin, 37400 Amboise

¹³ Retraitée INRA, route de saint Cyr, 78000 Versailles

Correspondance : ingrid.arnault@univ-tours.fr

Résumé

Les sucres des plantes (glucose, fructose, saccharose, raffinose ...) jouent un rôle fondamental dans la résistance de la plante à différents stress. On parle d'un nouveau concept de **Sweet Immunity ou défense liée aux sucres**. Le projet USAGE (2012-2014, ONEMA) a proposé de tester des applications foliaires d'infra-doses de sucres sur les plantes pour renforcer et accélérer le processus de *Sweet Immunity* sur différents couples de plante-bioagresseur. Le projet a regroupé 43 séries d'essais (6 en arboriculture, 12 en viticulture, 25 maraichage) dont 38 en conditions de productions. L'objectif générique était d'associer des sucres avec des doses réduites d'intrants tout en conservant la qualité de production agronomique. Les résultats, malgré les aléas d'expérimentations, ont permis d'observer un intérêt des applications de solutions de **saccharose et de fructose** pour le contrôle de différents bioagresseurs, lors de pressions parasitaires faibles à modérées et sur des cultures pérennes (vigne, arboriculture). Ainsi, les dégâts de carpocapse ont été réduits de 55% en arboriculture biologique avec le saccharose et le fructose. Dans les vignobles biologiques, les solutions de fructose ont permis de réduire les doses de cuivre contre le mildiou. Les résultats ont contribué à l'approbation du saccharose en substance de base (règlement d'exécution UE n° 916/2014 de la commission du 24 août 2014).

Mots-clés : sucres, expérimentation au champ et en conditions contrôlées, molécules « priming », vigne, pommier, application foliaire

Abstract: Using micro doses of soluble carbohydrates in crop protection

Increasing interest is devoted to relationships between sugars (glucose, sucrose, fructose, raffinose...) and resistance of plants to biotic and abiotic stresses, resulting in the concept of "sweet immunity" or "sugar-enhanced defense". The objective of the project USAGE (2012-2014) was to test the effect of spraying low doses of sugars on plants to control various bioaggressors. The project brought together 43 trials (6 in orchards, 12 in vineyards, 25 with various vegetable crops) including 38 in field conditions. An additional objective was to evaluate the possibility to combine foliar application of sugars with reduced doses of pesticides while maintaining the quality of agricultural production. Some potential of sucrose and fructose was observed for the control of various parasites, at low to moderate pest pressures and

on perennial crops (vineyards, arboriculture). Thus, the codling moth damage was reduced by 55% in organic orchards with both sucrose and fructose. Fructose sprays have reduced the amount of copper-based treatments used to control downy mildew in organic vineyards. The results contributed to the approval of sucrose as a basic substance (EU Regulations No. 916/2014 of the Committee on 24 August 2014).

Keywords: sweet immunity, sugars, field trials, bioassays, priming molecules, vineyards, orchards, foliar applications, mildew, copper, codling moth

Introduction

Face aux enjeux actuels (Grenelle de l'environnement, Écophyto, Objectif Terres 2020), de la diminution du nombre de molécules autorisées et des besoins croissants en outils de biocontrôle génériques entre les cultures et filières, les substances de base telles que les sucres stimulant l'immunité de la plante et les défenses des plantes (Bolouri Moghaddam et Van den Ende, 2012, 2013 ; Trouvelot *et al*, 2014 ; Morkunas *et al*, 2014) sont une voie nouvellement explorée et prometteuse. Des études en laboratoire ont montré des réductions notables des dégâts de carpocapse sur pommes et poires avec des pulvérisations foliaires d'infra-doses de saccharose (Derridj *et al*, 2012a). Le tréhalose et le glucose ont aussi montré des efficacités importantes en conditions contrôlées contre des champignons pathogènes obligatoires (oïdium, pourriture grise) et nématodes (Derridj *et al*, 2011). La méthode induit des changements métaboliques dans les tissus et à la surface des feuilles de plusieurs espèces végétales. L'objectif du projet USAGE (2012-2014) était de tester l'effet de la pulvérisation foliaire de solutions sucrées (fructose, glucose, saccharose, tréhalose) pour le contrôle de divers bioagresseurs sur différentes cultures (arboriculture, viticulture et maraichage). Pour cela, des expérimentations coordonnées intra et inter-filières impliquant des chercheurs de l'INRA et des expérimentateurs (Invenio, Sileban, LCA, lycée viticole d'Amboise, Adabio, GRAB) ont été réalisées en France de 2012 à 2014.

1. Effet de la pulvérisation de différents sucres contre le carpocapse des pommes

Cydia pomonella L. (le carpocapse des pommes et des poires) est considéré comme l'insecte causant le plus de dégâts en verger de pommiers. Parmi les méthodes biologiques, le virus de la granulose et la confusion sexuelle sont les plus utilisés mais les vergers présentent encore des infestations non maîtrisées. Les méthodes utilisant les sucres peuvent perturber le comportement de ponte des insectes et ainsi diminuer les dégâts. En effet, les études de Lombarkia *et al* (2002, 2008) montrent que les applications foliaires de saccharose et du D-fructose modifient les stimuli biochimiques impliqués dans l'oviposition et peuvent ainsi induire une résistance à la ponte du papillon. Ainsi, la pulvérisation avant l'éclosion des œufs de carpocapse, d'une solution aqueuse de saccharose ou de fructose à 100 ppm tous les 21 jours sur les pommiers, jusqu'à la fin de la saison permet de réduire la ponte de ce ravageur (Derridj *et al*, 2012). Des essais randomisés ont été conduits chez les producteurs dans des vergers menés en Agriculture Biologique ou en protection fruitière intégrée durant les 3 ans du projet. Chaque modalité de traitement a été répétée 4 fois. Le nombre de fruits piqués a été relevé à la récolte.

1.1 Essais en verger biologique

La première année de l'essai, en 2012 (variété Reine des reinettes), la modalité avec le saccharose à 100 ppm a été comparée au traitement de référence utilisant le virus de la granulose (Carpovirusine 2000©). Avec 26% de fruits piqués pour les deux modalités, le saccharose à 100 ppm est aussi efficace que le virus de la granulose. Les deux années suivantes, une modalité témoin a été mise en place dans chaque essai sur la variété Gala (Tableau 1). En 2013, les pulvérisations de fructose à 100 ppm ont

entraîné une baisse significative de fruits piqués à la récolte par rapport au témoin (3,6 % vs 14,9%, p-value = 0,018). L'efficacité (formule de Abbott) du fructose 100 ppm est donc de 76%. En 2014, les pulvérisations de fructose à 100 ppm ont entraîné une baisse significative de fruits piqués à la récolte par rapport au témoin (2,5 % vs 3,9%, p-value = 0,042). L'efficacité (formule de Abbott) du fructose à 100 ppm est de 36%. Par ailleurs, aucun effet des pulvérisations de saccharose et de fructose n'a été constaté sur la tavelure, les acariens phytophages et les pucerons.

Année	2013		2014		
	Modalités	% fruits infestés	P	% de fruits infestés	P
	Témoin	14,9 ± 2,0 a		3,9 ± 0,4 a	
	Saccharose 100 ppm	13,5 ± 2,8 a	ns	nt	
	Virus de la granulose	8,8 ± 1,5 ab	ns	3,3 ± 1,1 ab	Ns
	Fructose 100 ppm	3,6 ± 0,3 b	*	2,5 ± 0,2 b	*

Tableau 1 : Pourcentage de fruits infestés dans les essais conduits en agriculture biologique en 2012 et 2013 sur la variété Gala. P : différence entre le témoin et la modalité testée; * : différence significative (p-value < 0,05) ; n.s : non significative (p-value > 0,05) ; nt : non testé. Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes (Anova, test post hoc Newman-Keuls).

1.2 Essais en protection fruitière intégrée

La stratégie est de compléter le traitement chimique classique (Organo Phosphoré et Régulateur de Croissance des Insectes) avec des pulvérisations de fructose ou de saccharose 100 ppm tous les 21 jours. Trois essais conduits sans zone témoin entre 2012 et 2013 ont montré soit une tendance du fructose 100 ppm à améliorer l'efficacité des OP et RCI (p-value = 0,057 entre les OP et RCI seuls et ceux associés au fructose 100 ppm) soit aucun effet. Dans les essais avec une zone témoin non traitée, les pulvérisations de fructose à 100 ppm ajoutées aux OP et RCI ont permis de diminuer le nombre de fruits piqués par rapport aux OP et RCI seuls (6,5% vs 10% p-value = 0,008) (Tableau 2). **L'efficacité est donc améliorée de 35% lorsque l'on ajoute du fructose 100 ppm à un programme de protection phytosanitaire d'un producteur.** En revanche en 2013, bien que les modalités traitées avec les deux sucres indiquent un pourcentage inférieur d'infestation aux OP et RCI seuls, les résultats ne sont pas significatifs. Si les OP et RCI de référence affichent des efficacités modestes (54% en moyenne) pour des infestations fortes, l'ajout de fructose à ce programme chimique indique pour chaque essai, une tendance à améliorer son efficacité. Une piste serait de tester des doses réduites d'OP et RCI en association avec des pulvérisations de fructose.

Année	2012		2013		
	Modalités	% fruits infestés	P	% de fruits infestés	P
	Témoin	21,1 ± 3,0 a		10,3 ± 1,4 a	
	Modalité chimique (OP et RCI)	10,0 ± 0,5 b	***	4,5 ± 0,6 b	**
	OP et RCI + fructose 100 ppm	6,5 ± 0,5 c	***	2,8 ± 0,1 b	**
	OP et RCI + saccharose 100 ppm	nt		2,5 ± 0,7 b	**

Tableau 2 : Pourcentage de fruits infestés dans les essais conduits en protection fruitière et intégrée en 2012 et 2013 sur la variété Granny Smith. P : différence entre le témoin et la modalité testée; *** : différence hautement significative (p-value < 0,001) ; ** différence très significative (p-value < 0,01) ; nt : non testé. Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes (Anova, test post hoc Newman-Keuls).

2. Effet de la pulvérisation de sucres contre le mildiou de la vigne

La vigne est fortement consommatrice de fongicides pour lutter contre les maladies (mildiou, maladies du bois, pourriture grise, oïdium). Depuis le 31 mars 2002, l'usage du cuivre contre le mildiou doit être limité et mieux raisonné. Après 3 ans d'essais dans le cadre du projet USAGE, des pistes intéressantes

ont été dégagées avec l'utilisation de fructose 100 ppm associé à des doses réduites d'hydroxyde de cuivre. En viticulture conventionnelle, les doses de fongicides de synthèse doivent être raisonnées au maximum tout en assurant la pérennité des vignobles. Les stratégies de lutte visaient à associer le fructose avec des fongicides de synthèse en doses réduites, tout en maîtrisant le mildiou.

2.1 En conditions semi-contrôlées sous ombrière

Afin de cibler les conditions optimales d'applications des sucres contre le mildiou de la vigne, des essais randomisés ont été conduits pendant 3 ans à la station expérimentale du GRAB sur des vignes en pot sous ombrière. Les feuilles des cépages Muscat de Hambourg et Alphonse Lavallée ont été pulvérisés une fois aux doses équivalentes des traitements suivants: du cuivre à la dose habituelle (600g/ha), du cuivre en dose réduite (100g/ha), du fructose à 100 ppm et du cuivre en dose réduite associé avec du fructose 100 ppm. La modalité composée du fructose 100 ppm associé à du cuivre en dose réduite (1/6 de la dose habituelle) est le traitement le plus efficace dans les conditions de l'essai (Arnault *et al*, 2012a). Elle est aussi efficace que le cuivre à la dose habituelle. Ce résultat a donné des pistes pour les essais en plein champ.

2.2 Au champ

2.2.1 En vignoble biologique

Trois ans d'essais en blocs randomisés ont été conduits en Savoie en vignoble biologique (cépage Gamay) chez un viticulteur et en Indre et Loire dans la parcelle expérimentale du lycée viticole d'Amboise (réseau DEPHY, cépage Côt). L'objectif était de tester l'efficacité du fructose à 100 ppm en association avec des doses réduites de cuivre. Les stratégies cupriques avec ou sans fructose ont été appliquées en fonction de la météo. Les intensités d'attaques ont été notées sur les feuilles et les grappes. En Savoie, la première année a permis de valider au champ les tendances observées en conditions semi-contrôlées, c'est à dire la possibilité de réduire les doses de cuivre avec du fructose 100 ppm (Figure 1). Le fructose est inefficace seul.

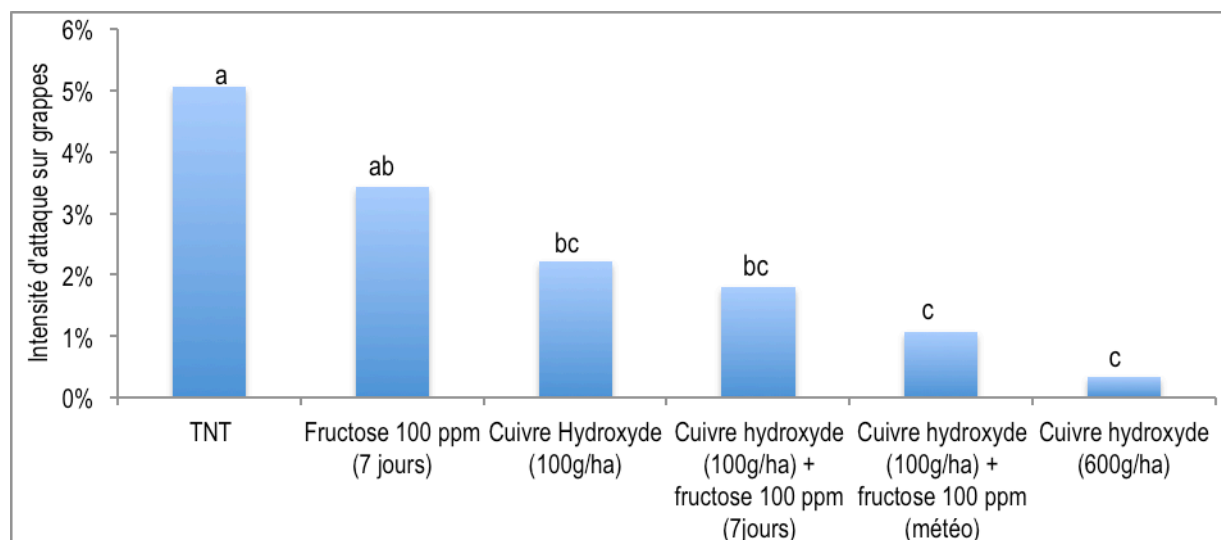


Figure 1 : Intensité d'attaque du mildiou sur grappes (en %) en fonction des différents traitements (vignoble biologique de Savoie cépage Gamay, 20 juillet 2012). Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes (Anova, test post hoc Newman-Keuls).

Les deux années suivantes ont été consacrées à tester différentes formes de cuivre (sulfate et hydroxyde) associées à du fructose 100 ppm. Le fructose à 100 ppm associé au cuivre hydroxyde en dose réduite (100 g/ha) est aussi efficace que la modalité avec la référence cuivre hydroxyde en dose

habituelle (400g/ha) (Figure 2). Cependant, le fructose 100 ppm n'apporte pas de bénéfices aux stratégies conjuguant plusieurs cupriques*.

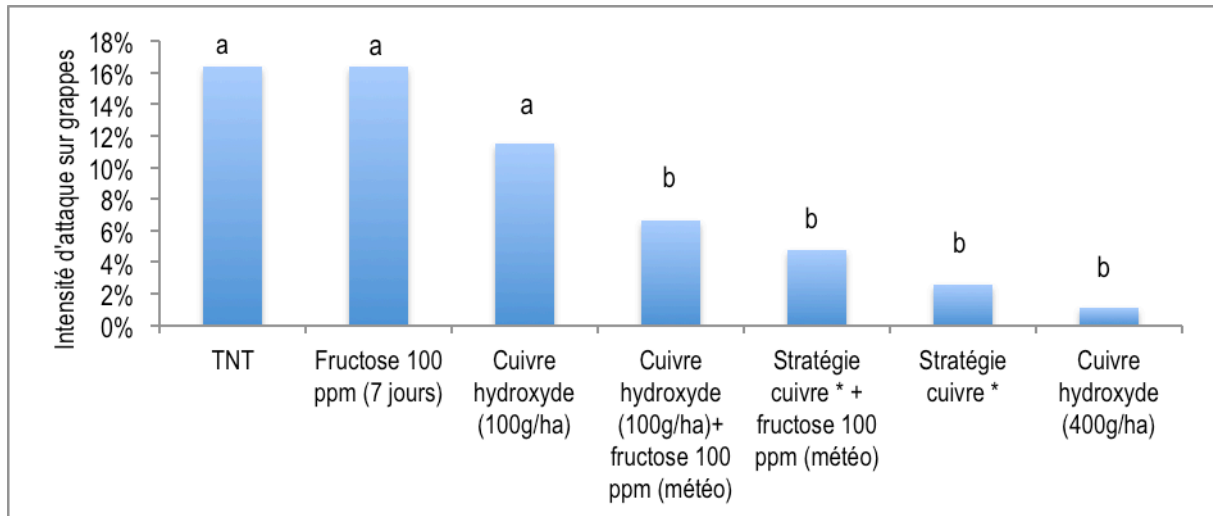


Figure 2 : Intensité d'attaque du mildiou sur grappes (en %) en fonction des différentes modalités (vignoble biologique de Savoie, cépage Gamay, 1^{er} août 2014). Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes (Anova, test post hoc Newman-Keuls). * Les stratégies cuivre conjuguent l'action de l'hydroxyde et du sulfate de cuivre avec des doses variables en fonction du stade et de la pression du mildiou, pour un total d'environ 2 kg/ha/an (soit deux fois plus que la référence).

En Indre et Loire, les tendances observées sur feuilles sont similaires à celles observées sur les grappes en Savoie. En 2013, avec une année très favorable au mildiou, seule la modalité avec la dose de référence de cuivre a montré une protection efficace contre le mildiou (p -value < 0,0001 avec le témoin) (Tableau 3). En 2014, la pression de mildiou a été plus modérée qu'en 2013 avec environ 7% d'intensité d'attaque sur les feuilles contre 48% en 2013. Le traitement associant la dose réduite de cuivre (sous forme hydroxyde) avec du fructose à 100 ppm est aussi efficace que le traitement de référence avec l'hydroxyde de cuivre à une dose non réduite (p -value = 0,292) et, est plus efficace que le traitement avec une dose de cuivre réduite (p -value = 0,004).

Année	2013	2014
Modalités	Intensité d'attaque (%), 20 juin	Intensité d'attaque (%), 24 juillet
Témoin	48,3 ± 1,2 a	6,4 ± 0,5 a
Référence cuivre réduit (150g/ha)	35,1 ± 0,8 b	5,0 ± 0,4 b
Référence cuivre réduit (150g/ha) + fructose 100 ppm	43,7 ± 0,5 a	2,8 ± 0,2 c
Fructose 100 ppm	45,2 ± 1,0 a	nt
Référence cuivre (600g/ha)	nt	2,1 ± 0,2 c

Tableau 3 : Intensité d'attaque du mildiou sur feuilles (en %) en fonction des différentes modalités et des années (vignoble biologique d'Indre et Loire, cépage Côt, problème de randomisation d'essais en 2012) ; nt : non testé. Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes (Anova, test post hoc Newman-Keuls).

2.2.2 En vignoble raisonné

Les essais conduits sur la parcelle expérimentale du lycée d'Amboise (réseau DEPHY) visent à associer le fructose avec des fongicides de synthèse (dithiocarbamates, Fosetyl®-Al) en doses réduites, tout en maîtrisant le mildiou. En 2012 avec des pressions modérées de mildiou, le traitement associant le fructose avec les fongicides réduits est plus efficace que le traitement avec les fongicides seuls (p -value = 0,014) et a tendance à être plus efficace que les fongicides seuls à doses réduites (p -

value = 0,054). En 2013, avec une pression forte de mildiou, on ne voit aucun effet du fructose, comme sur la parcelle biologique du même site avec de très fortes pressions de mildiou (Tableau 4). En 2014, la modalité associant le fructose avec le fongicide a tendance à être plus efficace que les fongicides seuls à doses réduites (p-value = 0,059).

Année	2012	2013	2014
Modalités	Intensité d'attaque (%), 12 juillet	Intensité d'attaque (%), 20 juin	Intensité d'attaque (%), 24 juillet
Témoin	21,9 ± 0,2 a	50,6 ± 1,0 a	13,3 ± 1,4 a
Fructose 100 ppm	17,6 ± 0,7 b	49,9 ± 0,9 a	nt
Fongicides doses de référence	12,7 ± 4,1 c	nt	1,0 ± 0,2 c
Fongicides doses réduites 1/2	10,1 ± 1,6 cd	15,0 ± 2,9 b	4,9 ± 0,8 b
Fongicides doses réduites 1/2+ fructose 100 ppm	6,4 ± 0,5 c	15,2 ± 4,0 b	3,2 ± 0,5 b

Tableau 4 : Intensité d'attaque du mildiou sur feuilles (en %) en fonction des différentes modalités et des années (vignoble raisonné d'Indre et Loire, cépage Côt). nt : non testé. Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes (Anova, test post hoc Newman-keuls).

3. Effet de la pulvérisation de sucres contre différents bioagresseurs des cultures maraichères

Une série d'essais en conditions contrôlées et au champ ont été réalisés sur des cultures non pérennes. Pendant la première phase, il s'agissait de réaliser une évaluation de l'efficacité des différents sucres (glucose, fructose, saccharose et tréhalose) à 3 doses d'application (1, 10 et 100 mg/L) sur les modèles *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum* / laitue et *Botrytis cinerea*, *Oidium neolycopersici* / tomate.

Pendant la deuxième phase du projet, des tests au champ ont été réalisés pour évaluer les efficacités des stratégies à base de sucres sur des ravageurs et pathogènes des plantes. Pour chaque système plante/bioagresseur, des essais multi-sites en champ ont été réalisés afin d'évaluer la variabilité de l'efficacité de la méthode en fonction du site géographique (Tableau 5).

Les résultats sur le pathosystème tomate/*Botrytis cinerea* ne confirment pas ceux obtenus dans d'autres études par pulvérisation foliaire (Derridj *et al.*, 2010) ou par application racinaire (livrable D9.1 du projet PURE). Dans ces deux cas, une réduction significative des lésions sur tomate avait été observée avec le saccharose ou le fructose. L'absence d'effet significatif observé lors des essais réalisés au cours du projet peut s'expliquer par l'utilisation de souches différentes de l'agent pathogène et/ou par l'utilisation de variétés de tomate différentes.

En culture de salade, l'intérêt des infra-doses de sucres pour améliorer la protection contre le mildiou, la pourriture blanche ou la pourriture grise n'a pas été démontré. La pression maladie semble avoir été trop forte et précoce pour permettre à la technique de s'exprimer. Dans tous les cas, la pression de maladie était modérée à forte. L'efficacité de la méthode en condition de pression de maladie plus faible mériterait d'être testée.

Les applications d'infra-doses de saccharose ou de fructose sur cultures de poireaux contre le thrips et de melon contre la pyrale tendent à améliorer la protection de référence. Bien que cette amélioration ne semble pas suffisante pour permettre une réduction des moyens de lutte classique, cette technique présente un intérêt pour améliorer la qualité sanitaire finale du produit (effet synergique avec les stratégies actuelles).

Bioagresseur, conditions expérimentales (site, année)	Sucres testés (seuls ou en association avec des produits chimiques de référence pour la culture)	Pression parasitaire	Résultats
LAITUE			
<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , en conditions contrôlées sur feuilles détachées (Vaucluse, 2012)	Glucose, fructose, tréhalose, saccharose 3 doses : 1, 10 et 100 ppm	Fortes	Pas d'effets significatifs. Tendance positive pour le glucose 10 ppm contre <i>S. sclerotiorum</i> (une répétition)
<i>B. cinerea</i> , <i>S. sclerotiorum</i> , tunnels (Avignon, 2012, 2013)	Stratégies avec le glucose 10 ppm ou le saccharose 100 ppm et le Contans et Sérénade	Fortes à modérées	Pas d'effets significatifs. Aucun bénéfice du glucose 10 ppm et du saccharose 100 ppm
<i>B. cinerea</i> , champ (Normandie, 2012).	Glucose 10 ppm	Modérée	Efficacité limitée du glucose ; possible effet antagoniste du glucose avec le Rovral®
<i>Bremia lactucae</i> , champ (Normandie, 2012).	Rhodax, Acrobat, Previcur Energy, Ortiva ; fructose (0,1 et 1 ppm), saccharose (10 et 100 ppm)	Modérée	Infestation retardée avec le saccharose 100 ppm sur la variété Daguane
<i>B. cinerea</i> , champ (Aquitaine, 2012).	Glucose 10 ppm	Nulle	Pas de conclusion
<i>B. cinerea</i> , champ (Aquitaine, 2013).	Saccharose 100 ppm, comparé à Sérénade, LBG 01F34, et Rovral	Modérée	Pas de différence entre modalités
<i>B. cinerea</i> , champ (Normandie, 2013).	Glucose 10 ppm	Modérée	Pas d'effet significatif. Possible ralentissement de l'infestation grâce au saccharose.
TOMATE - OÏDIUM NEOLYCOPERSICI ET BOTRYTIS CINEREA			
<i>O. neolycopersici</i> et <i>B. cinerea</i> , en conditions contrôlées sur plantes entières (Vaucluse, 2013)	Glucose, fructose, tréhalose, saccharose, 3 doses : 1,10 et 100 ppm	Forte	Pas d'effet significatif (Bardin <i>et al.</i> , 2014)
<i>O. neolycopersici</i> , tunnel (Aquitaine, 2014)	Stratégies avec des doses réduites de soufre (1/4, 1/3) associées à du saccharose 100 ppm	Très forte	Pas d'effet du saccharose seul mais tendance à améliorer le soufre réduit de moitié (en nombre d'application)
<i>O. neolycopersici</i> et <i>B. cinerea</i> , tunnels. (Vaucluse, 2014)	Stratégies Saccharose 100 ppm seul associées avec Prev-Am, Armicarb, Milsana, AQ10	Forte	Pas d'effet du saccharose seul et des stratégies avec les autres produits (Bardin <i>et al.</i> , 2014)
<i>B. cinerea</i> , en conditions contrôlées sur feuilles détachées (Vaucluse 2013)	Glucose, fructose, tréhalose, saccharose, 3 doses : 1,10 et 100 ppm	Forte	Pas d'effets significatifs
MELON - PYRALE (OSTRINIA NUBILALIS)			
Champ, (Aquitaine, 2012)	Stratégies de doses réduites de soufre (1/4, 1/3) associées à du fructose 10 ppm	Nulle	Pas de conclusions

Champ, (Aquitaine, 2013)	Idem	Faible	Pas de conclusions
Champ, (Aquitaine, 2014)	Idem	Forte	Les parcelles traitées au soufre ou fructose semblent moins atteintes que le témoin (20% de fruits touchés)
MELON – OÏDIUM (<i>OÏDIUM NEOLYCOPERSICI</i>)			
Champ, (Aquitaine, 2012)	Stratégies de doses réduites soufre (1/4, 1/3) associées à du fructose 10 ppm	Forte	Effet intéressant du fructose 10 ppm mais non suffisant (Arnault <i>et al.</i> , 2012a).
Champ, (Aquitaine, 2013)	Idem	Hétérogène	Pas de conclusions
Champ, (Aquitaine, 2014)	Idem	Très forte	Pas d'effet des stratégies à base de fructose
POMME DE TERRE - MILDIOU (<i>PHYTOPHTORA INFESTANS</i>)			
Champ (Loir et Cher, 2012)	fructose, glucose, saccharose à 100 ppm, en comparaison avec les références chimiques.	Très forte	Pas d'effets des sucres et cuivre peu efficace.
Champ (Loir et Cher, 2013)	Stratégies doses réduites de cuivre (1/2) associées à du saccharose 100 ppm	Très forte	Pas d'effet du saccharose
Champ (Savoie, 2012)	Les 3 sucres fructose, glucose, saccharose à 100 ppm	Très forte	Très fortes attaques d' <i>Altenaria</i> , difficultés pour l'estimation des symptômes de mildiou
POIREAU			
Mouche mineuse <i>Phytomyza gymnostoma</i> ; champ (Loir et Cher, 2012)	Glucose, fructose 10 ppm, saccharose 100 ppm	Forte	Pas de différences statistiques avec le témoin. Pas d'efficacité mesurée
Teigne <i>Acrolepiopsis assectella</i> champ, (Loir et Cher, 2014).	Stratégies doses réduites de la référence chimique associée à du saccharose 100 ppm ou à du fructose 100 ppm	Forte	Pas d'amélioration avec le saccharose et le fructose (mais problème de positionnement du produit de référence DELFIN)
Thrips <i>Thrips tabac</i> , champ (Normandie, 2012).	Fructose (0, 1 ; 1 ppm) ; saccharose (10 ; 100 ppm)	Très forte	Pas d'efficacité des modalités testées
Thrips <i>Thrips tabac</i> , champ (Normandie, 2013).	Stratégies doses réduites Abamectine associées à du saccharose 100 ppm	Très forte	Des tendances à l'amélioration de l'efficacité avec l'association saccharose / spinosad
Thrips <i>Thrips tabaci</i> , champ (Loir et Cher, 2013),	Saccharose 100 ppm + programme de référence		Pas d'effet du saccharose
Thrips, <i>Thrips tabaci</i> , plein champ (Normandie, 2014)	Stratégies doses réduites Abamectine et Spinosad associées à du saccharose 100 ppm	Très forte	Effet significatif du saccharose + Spinosad en début d'infestation

Tableau 6: synthèse des essais conduits en maraichage avec des stratégies de biocontrôle associant les sucres (glucose, fructose, saccharose, tréhalose).

4. Conclusion

En verger biologique, **les pulvérisations de saccharose à 100 ppm ont montré à nouveau leur efficacité contre le carpocapse des pommes et des poires**. Les applications foliaires de fructose à 100 ppm ont également pu réduire les dégâts de carpocapse de 55%. En protection fruitière intégrée, le fructose 100 ppm ajouté au traitement chimique de référence a permis d'améliorer la protection de 35% par rapport au traitement chimique de référence appliqué à la dose de référence. Les tendances générales montrent des efficacités non négligeables du fructose 100 ppm. Cependant, il s'agit de résultats préliminaires à stabiliser par d'autres essais.

Concernant la vigne biologique, **le fructose 100 ppm améliore l'efficacité de l'hydroxyde de cuivre appliqué à 1/4 de dose, sur grappes et feuilles**. Cette efficacité est similaire à la référence cuivre en cas de pression faible du pathogène. En cas de fortes attaques, la référence cuivre offre toujours la meilleure protection. Par ailleurs, aucun effet non intentionnel aggravant de l'application du fructose sur les acariens auxiliaires dans la vigne n'a été observé. En revanche, des suspicions sur un éventuel effet favorisant du fructose sur le black rot doivent être élucidées. En vignoble raisonné, on constate la même tendance, à savoir la possibilité d'utiliser du fructose à 100 ppm avec des doses réduites de fongicides de synthèse dans la lutte contre le mildiou, en cas de pression modérée du pathogène. Lorsque la pression du pathogène est élevée, aucun résultat positif n'est observé.

Que ce soit en protection fruitière intégrée ou en vigne raisonnée, les résultats indiquent des tendances, des stratégies de biocontrôle associant le fructose au programme chimique de référence. Des doses chimiques moins réduites, c'est à dire au tiers ou au quart de la dose de référence, seraient intéressantes à tester.

L'ensemble des tests réalisés sur les cultures maraichères n'a pas permis de dégager de pistes encourageantes. Les pressions parasitaires sont très importantes dans ces systèmes culturaux avec parfois des essais avec des inoculations artificielles où même les traitements de référence apportent une protection partielle. Néanmoins, le fructose et le saccharose à 10 ou 100 ppm ont montré ponctuellement des effets protecteurs significatifs (pyrale et oïdium du melon, thrips du poireau) mais insuffisants lors de fortes pressions parasitaires.

Enfin, le fructose et le saccharose à 100 ppm sont les deux seuls sucres qui ont montré un effet significatif en cas de pression faible à modérée dans le cas de cultures pérennes (vigne et arboriculture). Les efforts de recherche et d'expérimentation sont à poursuivre notamment sur les mécanismes d'actions et de stimulation de l'immunité des plantes. Avec un recul suffisant sur les mécanismes d'actions de l'immunité « sucrée », les stratégies potentielles de biocontrôle avec ces substances de base semblent prometteuses.

Les résultats obtenus en protection des cultures et notamment en arboriculture justifiaient une approbation communautaire. Le saccharose et le fructose ont donc été intégrés dans le programme pilote « PNP » qui testait la possibilité d'approbation en substance de base de substances peu préoccupantes ou alimentaires en vertu de l'article 23 du règlement CE n°1107/2009 (DG Santé). A ce jour, les dossiers du saccharose et du fructose ont été constitués, évalués et proposés au vote positif. **Le saccharose a été approuvé en aout 2014 (règlement d'exécution CE n°916/2014)** et le fructose est proposé au vote pour le comité permanent Végétaux, Animaux, Alimentation et Nutrition animale du 13 juillet 2015. Des dossiers extensions d'usages sont d'ores et déjà en cours de montage.

Références bibliographiques

- Arnault I., Chovelon M., Derridj D., 2012. Preliminary tests in field conditions of alternatives substances against grape downy mildew in organic farming. Working Group Biological Control Of Fungal And Bacterial Plant Pathogens. Biocontrol of plant pathogens in sustainable agriculture, 24- 27 juin 2012 (Reims, France).
- 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. IOBC-WPRS Bulletin: Biological Control of Fungal and Bacterial Plant Pathogens 86, 237.
- Bardin M., Dantony L., Duffaud M., Neu L., Pascal M., Troulet C., Nicot P., 2014. Combining various biological methods to control powdery mildew of tomato, XIII Meeting of the IOBC Working Group Biological control of fungal and bacterial plant pathogens. Biocontrol of Plant Diseases: "From the field to the laboratory and back again", 15-18 juin 2014 (Uppsala, Sweden).
- Bolouri Moghaddam MR., Van den Ende W., 2013. Sweet immunity in the plant circadian regulatory network. Journal of Experimental Botany 64(6), 1439-1449.
- Bolouri Moghaddam MR, Van den Ende W., 2012. Sugars and plant innate immunity. Journal of Experimental Botany 63 (11), 3989-3998.
- Derridj S., Elad Y., Birch A.N.E., 2012a. Sugar signaling as a new way for vegetable and fruit induced resistance against insects, pathogens and nematodes. Induced resistance in plants against insects and diseases IOBC-WPRS Bulletin (83), p. 127.
- Derridj S., Lombarkia N., Garrec JP., Galy H., Ferré E., 2012b. Carbohydrates on leaf surfaces used as signals by the insect and the plant: implications in orchard protection against *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae). In: Luis Cauteruccio (Ed.), Review and opinion in: Moths: Types, Ecological Significance and control methods. Nova Science Publishers, Inc. NY, pp. 1-38
- Derridj S., Arnault I., Birch N., Elad Y., Lombarkia N., Couzi P., Pierre P., Auger J., 2011. Les sucres solubles une opportunité pour l'agriculture durable ? Phytoma - La Défense des Végétaux 640, 10-14.
- Lombarkia N., Derridj S., 2002. Incidence of apple fruit and leaf surface metabolites on *Cydia pomonella* oviposition. Entomologia Experimentalis et applicata 104, 79-87.
- Lombarkia N., Derridj S., 2008. Resistance of apple trees to *Cydia pomonella* egg-laying due to leaf surface metabolites. Entomologia Experimentalis et applicata 128, 57-65.
- Morkunas I., Ratajczak L., 2014. The role of sugar signaling in plant defense responses against fungal pathogens. Acta Physiol. Plant. 36, 1607-1619.
- Trouvelot S., Héloir MC., Poinssot B., Gauthier A., Paris F., Guillier C., Combiér M., Trdá L., Daire X., Adrian M., 2014. Carbohydrates in plant immunity and plant protection: roles and potential application as foliar sprays. Front. Plant Sci. 4, 1-14.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)