

**AFPP – 6^e CONFÉRENCE SUR LES MOYENS ALTERNATIFS DE PROTECTION
POUR UNE PRODUCTION INTEGRÉE
LILLE – 21, 22 ET 23 MARS 2017**

L'UTILISATION DES SDP EN VITICULTURE : MYTHE OU REALITE ?

M.-F. CORIO-COSTET ⁽¹⁾, A. BELLEE ⁽¹⁾, M.-C. DUFOUR ⁽¹⁾ et G. COMONT ⁽¹⁾

⁽¹⁾ INRA, UMR Santé et Agroécologie du Vignoble (SAVE-1065), 71 avenue Edouard Bourlaux, CS 20032, 33882 Villenave d'Ornon cedex, marie-france.corio-costet@inra.fr.

RÉSUMÉ

Les méthodes alternatives ou complémentaires stimulant les défenses des plantes (SDP) peuvent permettre de limiter les intrants pesticides et les problèmes de résistance aux produits de protection des plantes en viticulture. Si leur utilisation présente des avantages au champ et de bons résultats en conditions de laboratoire, les résultats sont souvent décevants au vignoble. Les inconvénients sont en partie liés à l'irrégularité de leur efficacité au champ, notamment du fait de leur mode d'action. En analysant différents facteurs explicatifs de cette variabilité, et à l'aide d'un outil développé au laboratoire (puce Neovigen96) qui permet de valider une action SDP et de définir l'état de défense de la vigne, nous montrons qu'*in natura*, il est possible de maîtriser l'utilisation des SDP, permettant ainsi de réduire la sévérité des épidémies de divers bioagresseurs (Oïdium, Mildiou, Botrytis) de manière conséquente (30 à 70%), voire de réduire significativement l'expression de symptômes des maladies de dépérissement (40 à 60%).

Mots-clés : Stimulateur de défense, Vigne, Oïdium, Mildiou, *Botrytis cinerea*.

ABSTRACT

IS THE USE OF PLANT DEFENSE STIMULATORS, A MYTH OR A REALITY IN VINE-GROWING ?

The alternative or complementary methods stimulating plant defences (PDS also called elicitor) can allow to reduce the pesticide inputs and the problems of pesticide resistance in vineyard. However, if their use presents advantages, it also possesses disadvantages, in particular linked to their mode of action and to their irregular efficiency in fields. Analysis of various variability factors, and with a tool developed in our laboratory (Chip Neovigen96) to validate the PDS mode of action and the defense status of plants in vineyard, we show that *in natura*, we are able to control the use of PDS and reduce the severity of the epidemics of various pathogens (Powdery mildew, downy mildew, Botrytis) in a consequent way (30 in 70 %), even to reduce significantly the expression of foliar symptoms of the grapevine dieback (40 in 60 %).

Keywords: plant defense stimulators, powdery mildew, downy mildew, *Botrytis cinerea*, Grapevine dieback.

INTRODUCTION

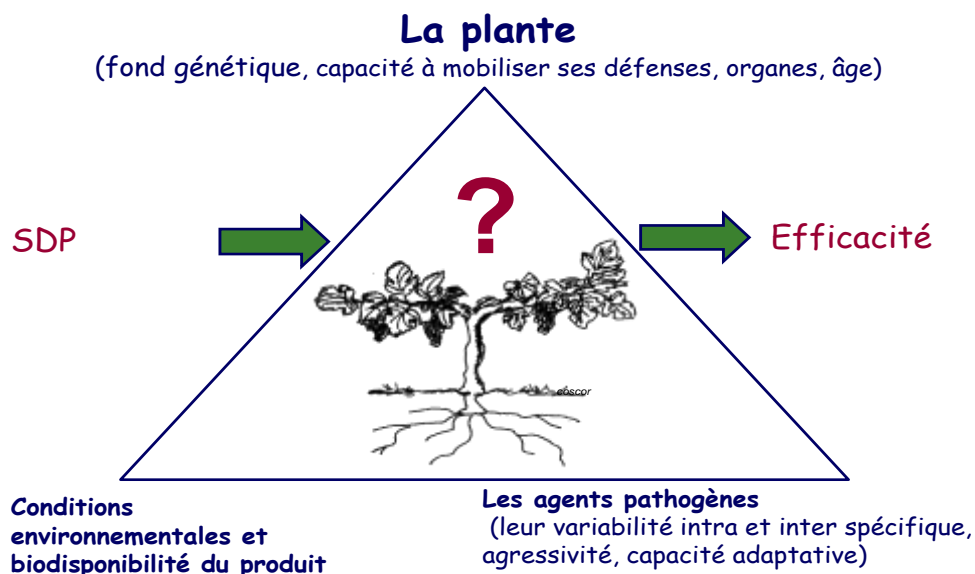
Depuis plusieurs années, les enjeux phytosanitaires ont évolué vers une meilleure utilisation des produits de protection, une réglementation plus drastique et le développement de méthodes de lutte dites « alternatives » ou « complémentaires ». La prise de conscience générale de concevoir autrement la lutte contre les agents pathogènes a émergé et de nombreuses recherches sont développées pour limiter l'utilisation des intrants chimiques au profit d'anciennes et de nouvelles méthodes de lutte (prophylaxie, rotation, lutte biologique, stimulateur de défense des plantes, résistance variétale..).

Les traitements de stimulation des défenses des plantes par des produits (SDP), connue depuis plus d'une trentaine d'années, a été peu exploitée mais un regain d'intérêt est apparu face à la nécessité de limiter les intrants pesticides. Les produits SDP présentent plusieurs avantages. Ils ont généralement un large spectre d'action et sont ainsi efficaces contre des champignons ascomycètes, des oomycètes, voire des virus (Newton et Pons-Kühnemann, 2014). De plus, ils sont généralement moins toxiques pour l'environnement et limitent les risques de résistances des agents pathogènes. S'ils appartiennent à la catégorie des substances naturelles, ils peuvent être potentiellement utilisés en agriculture biologique après homologation. De plus, les SDP, *sensus stricto*, sans effet pesticide direct sur un organisme vivant auront potentiellement un impact toxicologique et sur l'environnement faible, voire nul. Par contre, de par leur action indirecte via la plante, ils ont souvent des efficacités variables sur l'agent pathogène contre lequel l'agriculteur veut lutter. Ainsi, en conditions de laboratoire, les résultats sont-ils généralement encourageants, mais ils sont souvent décevants lors du passage en vraie grandeur (champ, vignoble, verger). Cette variabilité dépend de trois facteurs majeurs:

- de la plante, avec son fond génétique (cultivar), sa capacité à mobiliser rapidement ou non ses défenses, son état physiologique, et de l'organe considéré,
- de l'agent pathogène contre lequel on lutte, en particulier de son agressivité et de sa rapidité à se développer, mais aussi par exemple de sa capacité à détoxifier les phytoalexines produites,
- des conditions environnementales, qui vont influencer le développement et l'état de stress du végétal et favoriser ou non celui de l'agent pathogène, et la biodisponibilité du produit.

C'est face à ce panorama un peu complexe qu'il faudra évoluer avec les SDP en agriculture et en viticulture.

Figure 1 : Schéma représentant l'importance de différents facteurs sur l'efficacité d'un SDP
(Diagram representing the importance of various factors on the PDS efficiency)



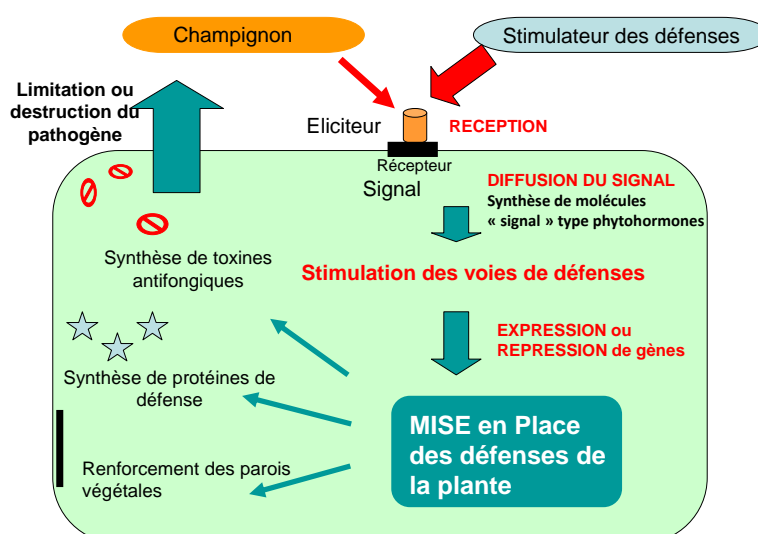
Les SDP anciennement nommés stimulateurs des défenses naturelles (SDN) sont des molécules ou des extraits, naturels ou non, qui après application sur une plante, sont capables d'induire et/ou parfois de préparer à l'induction (effet potentialisateur ou effet priming) d'un état de résistance face à un stress biotique (agents pathogènes) ou abiotique chez une plante (Delaunoy et al, 2014). Ils sont aussi parfois nommés Eliciteur, du fait de leur capacité à déclencher (Elicit en anglais) des mécanismes de défense soit localement (LAR, local acquired resistance) soit généralisés y compris dans des organes non traités, par systémie (SAR), de manière similaire à l'élicitation produite par un bioagresseur. Généralement, cet état de défense s'accompagne d'une réponse moléculaire, biochimique et physiologique, avec le plus souvent une accumulation de molécules de défenses (ex : phytoalexines), et des enzymes qui détruiront l'agent pathogène (pathogeneis related proteines, PR-protéines), de type chitinases, glucanases, ou protéases par exemple. Ces défenses conduisent aussi à des renforcement des parois végétales et de leur cuticule, rendant par exemple la cuticule des baies de raisin plus épaisse.

Comment la vigne répond t'elle à la stimulation de ses défenses ?

Après un stimulus ou une élicitation, la vigne va déclencher différents processus que l'on peut simplifier sous la forme de 4 étapes principales (figure 2) :

- 1- Réception par la vigne d'un signal de stimulation de ces défenses, qui agira comme un déclencheur, avec généralement la production d'H₂O₂ ;
- 2- Diffusion du signal qui transite par différentes hormones végétales et modification des voies de régulations hormonales (acide salicylique, jasmonate, éthylène, auxines) ;
- 3- Expression ou répression de gènes qui conduisent à une modification de la machinerie enzymatique (protéines) de la cellule stimulée ;
- 4- Mise en place des défenses qui sont très variées, alliant des défenses mécaniques (renforcement des parois végétales, épaississement de la cuticule) à des défenses de type biocide (productions de molécules toxiques pour l'agent pathogène tel que le ptérostilbène chez la vigne) et à des défenses biochimiques avec la production d'enzymes qui vont dégrader la paroi des champignons pathogènes ou des protéines (ex : glucanase, chitinase, protéase..).

Figure 2 : Schéma des différentes phases de réponses d'une plante à un stimulateur de défense. (Diagram representing the various phases of plant answers to a PDS elicitation)



À ce jour, plus d'une trentaine de produits, d'origine naturelle ou non, a été utilisée pour stimuler les défenses de la vigne à titre expérimental (Delaunoy *et al.* 2014), mais peu au vignoble (Belhadj *et al.*, 2006, Dufour *et al.*, 2013b). Certains sont des produits homologués sur d'autres cultures ou en cours d'homologation, mais beaucoup sont encore à l'étape expérimentale. Si l'efficacité en conditions de laboratoire est souvent très bonne, dès lors que l'on utilise ces produits au vignoble, l'efficacité fluctue énormément. Les travaux entrepris à l'UMR Santé et Agroécologie du vignoble de l'INRA de Bordeaux, depuis quelques années permettent aujourd'hui d'en savoir un peu plus. Ainsi, selon l'éliciteur utilisé, le niveau de protection du feuillage ou des grappes peut-il être totalement différent. Actuellement, en vigne, deux SDPs sont homologués : un extrait d'algues à base de laminarine et un polymère de chito-oligosaccharides associé à un oligomère d'acide galacturonique.

À partir, d'une méthode « BioMolChem », décrite au laboratoire (Corio-Costet *et al.*, 2013), nous avons développé des outils moléculaires qui permettent d'évaluer le statut de défense de la vigne (Dufour *et al.*, 2013b, 2016). Ainsi pouvons-nous mieux comprendre la variabilité d'action des SDP et obtenir des efficacités très intéressantes de SDP en condition de vignoble sur plusieurs millésimes.

MATERIEL ET MÉTHODE

MATERIEL VEGETAL

Au vignoble

Les expérimentations ont été réalisées, soit au domaine expérimental de Couhins (Pessac-Léognan, Bordeaux), soit sur le domaine de la Grande Ferrade, sur différents cépages selon les expérimentations : cépage Sémillon pour les essais botrytis, cépage Cabernet-Sauvignon, Cabernet-Franc, Merlot, Sémillon et Sauvignon pour les essais oïdium et mildiou, et cépage Sauvignon ou Cabernet-Sauvignon pour les essais maladies du bois. Les parcelles expérimentales sont constituées de 4 blocs de 3 à 10 ceps randomisés 4 fois par modalité, excepté pour les essais maladies de dépérissement où des lots de plants symptomatiques ou asymptomatiques ont été constitués pour tester l'effet de chaque modalité de traitement sur l'expression des symptômes foliaires sur plusieurs sites.

PRODUITS UTILISES

L'Acibenzolar S-méthyle ou SDP1

Nom UIPAC: S-méthyl (1, 2, 3) benzothiadiazole 7 – carbothioate.

Nom commercial: Bion® (50WG) C₈H₆N₂OS₂, PM = 210. Le produit a été appliqué à 1 g/L de matière active (m.a.) sur les essais au vignoble. Le produit formulé n'a pas d'effet direct sur les agents pathogènes travaillés aux concentrations utilisées (Dufour *et al.*, 2013a).

L'extrait végétal ou SDP2 : il s'agit d'un extrait naturel de plante formulé de deux façons différentes (formulation SDP2 ou SDP2a). Le produit et les formulations sont sous contrat de confidentialité et n'ont pas d'action directe sur les agents pathogènes.

METHODES

Evaluation des efficacités des SDP au vignoble.

Les essais sont réalisés sur des parcelles expérimentales, constituées de 4 blocs (voir ci-dessus) de 3 à 10 ceps des différents cépages non traités ou traités, de 1 fois à 5 fois selon la ou les maladies visées au cours de la saison avec le SDP1 à 0.5 ou 1g/l de m.a., le SDP2, et des fongicides de références aux doses homologuées utilisées comme références (mancozèbe, tebuconazole, pyriméthanyl). Les dates de traitements sont ajustées chaque année en fonction des stades phénologiques à partir du stade 13-14 de l'échelle BBCH (3-4 feuilles étalées) et cessent avant la véraison. L'évaluation des maladies au vignoble consiste à évaluer la sévérité (% de surface attaquée par organe) et la fréquence (% d'organe attaqué) des feuilles et des grappes au cours de la saison.

Evaluations du statut de défense des SDP au vignoble.

L'extraction des ARNs est réalisée en accord avec le protocole décrit par Dufour *et al*, 2013b, à partir de feuilles de vigne congelées dans l'azote liquide, conservées à - 80°C. Deux µg d'ARNs sont traités à la DNase puis rétro-transcrits en utilisant 1,2 µM d'oligo d(T)₁₅ et la reverse transcriptase M-MLV de Promega selon les recommandations du fabricant. Les ADNc obtenus sont ensuite stockés à - 20 °C. Les réactions de qPCR sont réalisées en utilisant la technique à haut débit fluidigm (Dufour et al., 2016). L'expression relative (ER) des gènes est calculée en appliquant la formule suivante : $ER = 2^{-\Delta\Delta Ct}$ où $\Delta\Delta Ct = \Delta Ct$ (modalité étudiée) - ΔCt (modalité témoin (non traitée)) (Dufour *et al*, 2013b).

Analyses des données

Pour évaluer l'efficacité de stimulation des défenses de la vigne et l'expression des gènes face à la diversité des pathogènes, toutes les données sont soumises soit à une analyse de covariance par modèle général linéaire (données d'efficacité) soit à une analyse de variance (données d'expression et biochimiques) en utilisant un programme d'analyse statistique Systat 11 (Systat Software, Inc). Les différences significatives dans les valeurs moyennes sont déterminées au seuil de 0,05 et les comparaisons deux à deux sont effectuées par le test de Tukey.

RESULTATS

Force est de constater, que la maîtrise de l'utilisation de produits dits « alternatifs » est généralement délicate, que les produits soient des SDP, des extraits naturels ou des agents de lutte biologique. Le plus souvent les microorganismes ou les produits naturels nécessitent une formulation qui favorisera leur adhésion et leur pénétration éventuelle sur et dans le végétal, ou qui les rendra plus biodisponible. Les divers résultats présentés ci-dessous montreront l'intérêt d'une bonne formulation, pour obtenir une efficacité stable à des doses limitées au vignoble.

ROLE DE LA FORMULATION DANS L'EFFICACITE ET SA STABILITE AU VIGNOBLE

Efficacité *in natura*

Les données de réduction de la sévérité des épidémies d'oïdium, de mildiou et de botrytis présentées dans le tableau I montrent l'importance de la formulation des SDP (comparaison SDP2 et SDP2a) et révèle que tout SDP n'est pas identique à un autre. À noter que les formulations seules du SDP2 testées *in vitro* à de fortes concentrations n'affectent pas le développement des agents pathogènes.

Tableau I : Efficacité contre les épidémies d'oïdium, de mildiou et de botrytis des deux SDP, au vignoble, après 3 à 5 traitements. SDP2 et SDP2a sont des formulations différents du même produit. * = significativité par rapport au témoin non traité au seuil de 5%.

(Efficiency against the powdery mildew, downy mildew and of botrytis epidemics with the two SDP, in the vineyard, after 3 or 5 treatments. SDP2 and SDP2a are plant extract with two different formulations)

Produits	Réduction de la sévérité des épidémies relative au control non traité					
	Oïdium		Mildiou		Botrytis	
	Feuille	Grappe	Feuille	Grappe	Feuille	Grappe
SDP 1	59%*	48%*	51%*	46,7%*	-	54%*
SDP2	22%*	0%	7%	0%	-	0%
SDP2a	52%*	52%*	35%*	47%*	-	39%*

SDP1 est un produit formulé commercial, et SDP2 et SDP2a sont deux formulations différentes d'un produit en cours d'étude, formulé sous la forme d'une émulsion (SDP2) et formulé pour obtenir un

relargage progressif de l'extrait végétal (SDP2a). Les sévérités des épidémies d'oïdium, de mildiou et de botrytis sur les blocs non traités atteignaient respectivement 80% pour l'oïdium, 40% pour le mildiou et 30% pour Botrytis.

Force est de constater que le SDP1, un produit formulé (1g/l) a conduit à des efficacités intéressantes avec un gain de l'ordre de 50% pour l'ensemble des trois maladies. Par contre, la formulation SDP2 a été peu efficace quelle que soit la maladie considérée. La modification de la formulation de SDP2 (SDP2a) augmentant fortement la biodisponibilité du produit a conduit à d'importantes réductions de la sévérité et cela, quel que soit l'agent pathogène considéré. L'ensemble des efficacités observées avec SPD2a sont proches de celles observées avec SPD1. Comme attendu, Il apparait que la formulation et la biodisponibilité du produit joue un rôle majeur dans l'efficacité des stimulations.

ROLE POTENTIEL DE LA VARIABILITE GENETIQUE DU CULTIVAR

Chemin faisant, pour obtenir une bonne efficacité de type SDP, il est important de connaître le potentiel de réponses à une élicitation des différents cultivars. Ce point a été abordé en traitant ou non différents cultivars de vigne, Cabernet-Sauvignon, Sauvignon, Sémillon, Cabernet-Franc, Merlot situés sur la même parcelle, sous forme de 4 blocs répétés de 5 ceps avec SDP1 et SDP2a.

La sévérité des épidémies variait sur les plants non traités en fonction de la sensibilité des cépages, avec une sévérité faible sur le cépage Sémillon (10%) et des sévérités plus importantes sur les autres cépages de l'ordre de 50% (Tableau II).

Tableau II : Efficacité de 5 traitements, avec des SDP comme seule couverture, sur les épidémies d'oïdium sur différents cépages en 2015. Efficacité exprimé en pourcentage (%) de réduction de la sévérité sur grappes. ¹ = sévérité moyenne sur les grappes non traitées. * = significativement différent du non traité au seuil de 5%.

(Efficiency of 5 treatments with SDP1 and SDP2a on the epidemics of powdery mildew on various grapevine cultivars in 2015)

Produits	Cépages				
	Merlot	Cabernet-Sauvignon	Cabernet-Franc	Sauvignon	Sémillon
	(50%) ¹	(55%)	(50%)	(50%)	(10%)
SDP1	54,3*	20*	40*	70*	50
SDP2a	65,7*	57,1*	32*	53.3*	50

Les résultats montrent que les deux produits appliqués 5 fois au cours de la saison ont conduit à de fortes réductions, significatives, de la sévérité de la maladie sur les différents cépages, à l'exception du Sémillon qui a été peu atteint par la maladie (10% de sévérité). Si des variabilités d'efficacité sont observées concernant l'efficacité des deux produits, elles ne sont pas significativement différentes entre les deux produits, à l'exception de l'efficacité de SDP1 par rapport à SDP2a sur le cépage Cabernet-Sauvignon.

Globalement les efficacités *in natura* sur les différents cépage sont assez proches, excepté sur les cépages Cabernet-sauvignon et Merlot pour le SDP1 et une tendance pour les deux SDP à être moins efficaces sur le cépage Cabernet-Franc. Ces résultats sont plus homogènes que ceux observés sur boutures en serre (données non montrées).

INTERET D'UN EFFET MULTIPATHOGENE

Efficacité anti-oidium et anti-mildiou

L'intérêt de l'utilisation de SDP est potentiellement leur large spectre d'action. Ainsi un même traitement peut-il conduire à une protection contre différents agents pathogènes sur un même site. C'est notamment le cas des produits que nous avons testés contre les épidémies d'oidium et de mildiou.

Sur une même parcelle, il est possible d'obtenir de bonnes efficacités de protection avec les deux produits SDP, tant contre l'oidium que contre le mildiou. À noter que des résultats similaires ont été obtenus en 2014. Les efficacités observées (tableau III) sont similaires pour les deux SDP, selon l'agent pathogène visé.

Tableau III : Efficacité moyenne de réduction de la sévérité sur grappe des épidémies d'oidium et de mildiou après 5 traitements, en 2015, sur différentes parcelles avec les deux SDP.

(Mean efficiency of the two SDP in regards to severity reduction of powdery mildew and downy mildew epidemics on clusters, after 5 treatments, in 2015, on various plots).

Produit	Réduction de la sévérité exprimée en %	
	Oïdium	Mildiou
SDP1	56,5 ± 11,4	47,2 ± 11,2
SDP2a	55,8 ± 9,8	48,5 ± 8,1

Efficacité anti-botrytis

Toujours à la recherche d'une efficacité multipathogène, des essais anti-botrytis ont été conduits sur plusieurs années sur le cépage Sauvignon. Il apparaît qu'avec 3 traitements positionnés aux stades clés de la protection contre botrytis, il est possible d'obtenir une très bonne protection des grappes, avec une réduction moyenne de la sévérité de la maladie sur grappes de 56 à 63% sur deux années (tableau IV). L'efficacité des deux produits SDP est similaire à celle obtenue avec le fongicide utilisé lors de ces expériences (pyriméthanol), voire légèrement supérieure. À noter : variabilité plus importante pour les 2 SDP par rapport au produit conventionnel.

Tableau IV : Réduction moyenne de la sévérité des épidémies de botrytis (2014 et 2015) avec les deux SDP. * significativité par rapport au témoin non traité au seuil de 5%. La sévérité chez le témoin non traité variait de 30 à 80 %.

(Mean reductions of the severity of the botrytis epidemics (in 2014 and 2015) with the two SDP)

Produit	Réduction de la sévérité exprimée en %
Fongicide	50,1 ± 0,1*
SDP1	63,7 ± 5,1*
SDP2a	56,5 ± 6,4 *

Possibilité de limiter l'expression des maladies du bois sur Sauvignon et Cabernet-Sauvignon

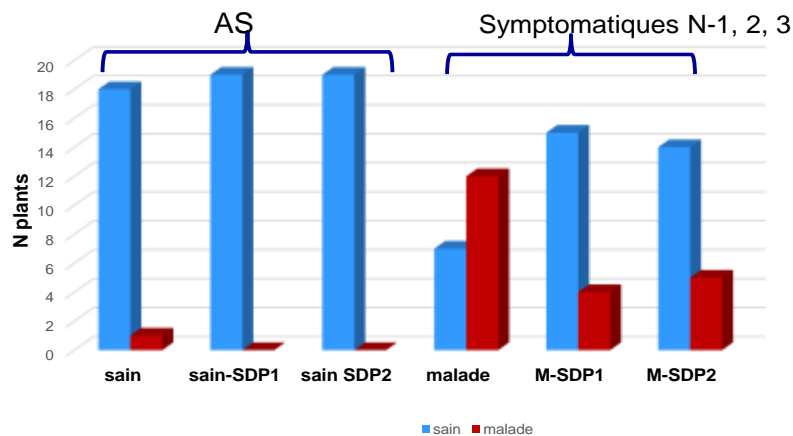
Suite à l'absence de produit vraiment efficace pour limiter les maladies de dépérissement au vignoble, des recherches sont en cours (Yacoub *et al.* 2016). Il semblait intéressant de tester le potentiel de biostimulation des deux SDP pour, soit limiter l'expression des symptômes, soit limiter la taille des nécroses et des chancres dans le bois. Suite aux expériences de laboratoire qui montraient, après inoculation, une réduction des nécroses et des chancres dans le bois de 40 à 70% (données non

montrées), nous avons testé les produits directement sur différentes parcelles fortement atteintes par les maladies du bois.

La figure 3, montre que sur des plantes n'ayant jamais exprimé la maladie au niveau foliaire (plants asymptomatiques), l'année du traitement, aucun plant n'exprime de symptômes, qu'il soit traité ou non avec les SDP, à l'exception d'un plant. Ce point suggère que le pied était atteint mais n'avait pas exprimé de symptômes au cours des 3 années précédentes. En revanche, pour les plants présentant des symptômes au cours des trois années précédant l'expérience (plants symptomatiques) non traités, comme attendu, 55% de ces plants ont exprimé des symptômes. À l'inverse, sur les plants symptomatiques traités avec le SDP1 ou le SDP2a, peu de plants expriment des symptômes avec respectivement 15% et 20% d'expression. Il semble qu'un traitement annuel avec ces SDPs conduisent à une diminution de l'expression des symptômes significative de l'ordre de 63 à 70% en 2014.

Des résultats similaires sur d'autres parcelles ont été obtenus en 2015 sur le cépage Cabernet-Sauvignon (données non montrées).

Figure 3 : Expression des symptômes de maladies de dépérissement du bois de vigne (ESCA-DBA) observée en 2014, sur des plants asymptomatiques ou symptomatiques les années précédentes, traités ou non avec des SDP. En bleu les plants n'ayant pas exprimé en 2014 et en bordeaux, les plants ayant exprimé des symptômes foliaires. N= 20 pour chaque modalité.



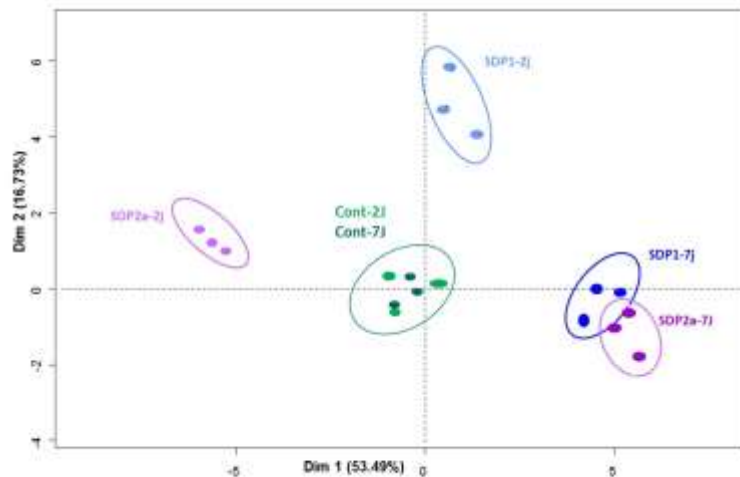
Il semble qu'il soit possible à l'aide de SDP d'origine biologique ou non de stimuler la plante lui permettant de limiter l'expression des maladies du bois, et potentiellement d'augmenter le rendement des ceps ayant exprimé la maladie les années précédentes.

Intérêt de la puce néovigen

Au cours des différentes expériences menées au laboratoire ou *in natura*, nous avons cherché à évaluer l'état de défense des plantes, en analysant l'expression de 96 gènes potentiellement impliqués dans les défenses (figure 4).

Figure 4 : Analyse en composantes principales (ACP) des profils d'expression des gènes de la puce Neovigen 96, dans les feuilles de plantes traitées avec SDP1 et SDP2a au vignoble, 48h et 7 jours après le traitement anti-botrytis.

(Principal component analysis of gene expression patterns (chip Neovigen 96), in treated or untreated leaves with SDP1 and SDP2a in the vineyard, 48 hours and 7 days after treatment)



À partir des profils d'expression de ces gènes dans les feuilles et de la sévérité de botrytis observée en fin de saison, nous avons mis en évidence les voies hormonales végétales impliquées dans les réponses et identifier quelques gènes que l'on pourrait qualifier de « gènes de protection » car ils sont corrélés à une plus faible sévérité de la maladie. Sur l'ACP, la dimension 2 explicative pour 16,7% de la variabilité montre les différences d'expression entre les deux SDP 48h après le traitement et le contrôle, démontrant que précocement, ces SDP ne stimulent pas la vigne de manière similaire. La dimension 1 explicative à 53,5% met en évidence la différence des profils d'expression des gènes de défense 7 jours après les traitements entre les plants non traités et ceux traités avec les deux SDP. À noter que pour les plants non traités aucune différence n'est observée dans les profils d'expression lors de deux prélèvements. De même, 7 jours après le traitement, les 2 SDP conduisent à des profils d'expression similaires. L'expression de quelques gènes est corrélée à la diminution de la sévérité.

DISCUSSION

Ce travail de plusieurs années, qui visait à décrypter les facteurs de variabilité de l'efficacité de produits alternatifs ou complémentaires de type SDP, montre que des travaux de recherche, parfois plus fondamentaux, permettent d'appréhender les facteurs impliqués dans le mode d'action de ces SDP et par conséquent de mieux utiliser ces produits. L'un des premiers facteurs à prendre en compte est la formulation. Un produit stabilisé et bien distribué sur et dans la plante permettra de stimuler les plantes de manière plus homogène et efficace et donc d'obtenir des résultats réguliers année après année.

Force est de constater que le fond génétique de la plante peut jouer un rôle important dans l'efficacité des réponses de la plante. Nous avons par le passé montré que les SDP pouvaient être utilisés pour stimuler les défenses de cépages sensibles, mais aussi pour augmenter les défenses sur des cépages partiellement résistants (Corio-Costet *et al.*, 2013, Dufour *et al.*, 2013b). Les résultats présentés ici avec 5 cépages bordelais, montrent que si l'on traite l'ensemble des plantes à la même date sur une parcelle multicépage, l'efficacité des défenses varie peu selon le pathogène et le cultivar.

Chemin faisant, au cours de travaux précédents, nous avons montré que la diversité de l'agent pathogène et son agressivité pouvait conduire à des efficacités des SDP plus ou moins importantes (Dufour *et al.*, 2013b). En particulier, pour l'oidium de la vigne, où le groupe génétique A semblait un

peu moins sensible aux défenses de la vigne que l'oidium de groupe B. Il s'agira donc d'être vigilant et de bien connaître sa parcelle et de prendre les précautions nécessaires.

Nous montrons ici, qu'il est possible avec 3 à 5 traitements annuels de limiter fortement les épidémies d'oidium, de mildiou et de botrytis. Même si ces efficacités sont partielles, il faut remarquer que les sévérités d'épidémies étaient fortes sur les plants témoins. Ce point révèle le fort potentiel que possèdent les SDP, et indique que leur association avec des doses réduites de pesticides pourrait être une solution alternative plausible et efficace. Par le passé, nous avons déjà montré que des associations de SDP avec des ½ doses de produits pesticides permettaient de garantir une efficacité similaire à la pleine dose du produit pesticide (Dufour *et al.*, 2013c).

Beaucoup plus intéressant, l'effet d'une possible résilience des symptômes de maladie de dépérissement (ESCA, BDA) pourrait être un débouché majeur de ces produits SDP au niveau des pépinières pour assurer une meilleure résistance des plants aux maladies, mais aussi pour accompagner de jeunes plantations pour limiter l'apparition (Yacoub *et al.*, 2016) et l'extension des maladies de dépérissement et « biostimuler » globalement leur métabolisme. Nos conditions d'expérimentations, particulièrement drastiques qui consistent à traiter des plants (malades) ayant exprimé, 1, 2 ou 3 fois les symptômes au cours des 3 années précédant le traitement, ont néanmoins montré qu'il était possible d'obtenir un effet sur l'expression des symptômes selon le millésime avec 1 seul traitement annuel.

CONCLUSION

Une bonne connaissance des facteurs influençant l'efficacité de la stimulation est primordiale, et utiliser un stimulateur implique de maîtriser une triple interaction entre la réponse de la plante, le produit éliciteur et l'attaque du pathogène. Les SDP peuvent constituer une méthode complémentaire de choix, pour renforcer les plants dans la pépinière avant plantation, stimuler les plantes pour limiter leur infection par différents agents pathogènes et ainsi limiter l'utilisation de produits pesticides classiques.

Aujourd'hui, il paraît possible de développer l'utilisation de produits de type SDP, en complément à l'utilisation de pesticides qu'ils soient conventionnels ou autorisés en agriculture biologique. Leur large spectre, comme nous l'avons démontré ici, est un réel atout pour une lutte « multi-pest » ce qui est rare avec les produits fongicides, et leur potentielle action de « résilience » sur les plantes atteintes d'ESCA-BDA en fait une réelle solution, pour lutter contre les maladies de dépérissement pour lesquelles nous sommes dans une impasse technique. Pour conclure, l'utilisation des SDP en viticulture peut devenir une réalité.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient S. Gambier pour la production de plants de vigne, Gilles Taris et Lionel Druelle pour le soutien technique, les sociétés qui nous ont mis à disposition les produits, et l'INRA, les FUI DEFISTIM et NEOPROTEC et le CASDAR pour les soutiens financiers.

BIBLIOGRAPHIE

- Belhadj A., Saigne C., Telef N., Cluzet S., Bouscaut J., Corio-Costet M-F., Mérillon J-M. , 2006- Methyl jasmonate Induces Defense Responses in Grapevine and Triggers Protection against *Erysiphe necator*, *J. Agric. Food Chem*, 57, 9119-9125.
- Corio-Costet MF., Lambert C., Cluzet S., Merdinoglu D., Dufour MC., 2013- "BioMolChem" a tool to assess the defence status of grapevine: from genes to the field. 1st World congress on the use of biostimulants in agriculture (Strasbourg, 26-29th November 2012). *Acta horticulturararum*. eds S. Saa Silva et al., ISHS *Acta horticulturararum*, 1009, 53-60
- Delaunoy B., Farace G., Jeandet P., Clément C., Baillieux F., Dorey S., Cordelier S., 2014- Elicitors as alternative strategy to pesticides in grapevine? Current knowledge on their mode of action from controlled conditions to vineyard. *Environ Sci Pollut Res*, 21, 4837-4846.

- Dufour MC., and MF Corio-Costet MF., 2013a- Variability in the sensitivity of biotrophic grapevine pathogens (*Erysiphe necator* and *Plasmopara viticola*) to acibenzolar-S methyl and two phosphonates. *Eur. J Plant Pathol.* 136(2), 247-259.
- Dufour MC., Lambert C., Bouscaut J., Mérillon JM., and Corio-Costet MF., 2013b- Benzothiadiazole-primed defense responses and enhanced differential expression of defense genes in *Vitis vinifera* infected with biotrophic pathogens (*Erysiphe necator* and *Plasmopara viticola*). *Plant Pathology*, 62, 270-382.
- Dufour MC., Druelle L., Corio-Costet MF., 2013c- BioMolChem tools used in the vineyard to predict grapevine protection against downy mildew after elicitation. *IOBC-WPRS Bulletin*, 89, 391-396.
- Dufour MC., Magnin N., Dumas B., Vergnes S. and MF Corio-Costet., 2016- High-throughput gene-expression quantification of the grapevine defense responses as using fluidigm microfluidics dynamic arrays: "NeoViGen96" chip. *BMC genomics*, sous presse.
- Newton AC, Pons-Kühnemann J., 2014- Induced resistance in natural ecosystems and pathogen population biology : exploiting interactions. In : Walters DR., Newton AC., Lyon GD. *Induced resistance for plant defense*. Wiley Blackwell, Chichester, 137-149.
- Yacoub A., Gerbore J., Magnin N., Chambon P., Dufour MC., Corio-Costet MF., Guyoneaud P., Rey P., 2016- Ability of *Pythium oligandrum* strains to protect *Vitis vinifera* against *Phaeoconiella chlamydospora*, a pathogen involved in Esca, by inducing plant resistance. *Biological Control*, 92, 7-16.