

CODEVI-SDP -Mesurer et caractériser les Composés Organiques Volatils de la vigne comme réponse à une application d'un produit Stimulateur des Défenses des Plantes

Nicolas Aveline, Christelle Lemaitre-Guillier, A. Douillet, Stéphanie Cluzet, Josep Valls Fonayet, C. Dufresne, Agnes Chartier, M. Adrian, Xavier Daire

▶ **To cite this version:**

Nicolas Aveline, Christelle Lemaitre-Guillier, A. Douillet, Stéphanie Cluzet, Josep Valls Fonayet, et al.. CODEVI-SDP -Mesurer et caractériser les Composés Organiques Volatils de la vigne comme réponse à une application d'un produit Stimulateur des Défenses des Plantes. Innovations Agronomiques, 2022, 85, pp.73-82. 10.17180/ciag-2022-vol85-art06 . hal-03612694

HAL Id: hal-03612694
https://hal.inrae.fr/hal-03612694

Submitted on 18 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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



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

CODEVI-SDP - Mesurer et caractériser les Composés Organiques Volatils de la vigne comme réponse à une application d'un produit Stimulateur des Défenses des Plantes

Aveline N.[1,2], Lemaître-Guillier C.[3], Douillet A.[1], Cluzet S.[4], Valls J.[4], Dufresne C.[5], Chartier A.[5], Adrian M.[3], Daire X.[3]

[1] IFV Pôle Nouvelle Aquitaine, 39 rue Michel Montaigne, F-33290 Blanquefort

[2] UMT SEVEN - INRAE - Centre de Recherches de Bordeaux-Nouvelle Aquitaine, 71 avenue Edouard Bourlaux CS 20032, F-33882 Villenave-d'Ornon Cedex

[3] Agroécologie, AgroSup Dijon, CNRS, INRAE, Univ. Bourgogne, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon

[4] Univ. Bordeaux, INRAE, Bordeaux INP, UR OENO, EA4577, USC 1366, ISVV, F-33140 Villenave-d'Ornon

[5] ICOA, UMR 7311 - Université d'Orléans-pôle de chimie, rue de Chartres, BP6759, F-45067 Orléans Cedex 02

Correspondance : nicolas.aveline@vignevin.com ; christelle.guillier@inrae.fr

Résumé

Les composés organiques volatiles (COV) sont des molécules émises dans l'air par la plante, notamment lors d'un stress (attaque d'un bioagresseur). Le projet CODEVI SDP avait pour objectif de caractériser les COV émis par la vigne lors de son traitement avec des produits Stimulateurs des défenses homologuées et de renseigner l'existence potentielle d'une corrélation entre cette émission et la résistance induite contre le mildiou (Plasmopara viticola). Cette émission de COV pourrait devenir un indice de réaction de la plante permettant de valider au vignoble l'action d'une application de produit Stimulateurs des défenses des plantes (SDP) et permettre une optimisation de leur usage en conditions de production. Le projet a été mené sur des vignobles Bourguignon et Bordelais et a rassemblé des équipes de recherche implantées dans ces territoires (UMR AE Dijon, IFV et Université de Bordeaux) pour la réalisation des expérimentations sous l'expertise du laboratoire de l'ICOA (UMR 7311 Orléans) pour la mesure et l'analyse des COV. Suite à l'application de produits SDP, l'essentiel des mesures a été mené sur la base du triptyque théorique : émission de COV par la vigne, synthèse de molécules de défense dans les feuilles et efficacité de protection contre P. viticola. En conditions contrôlées, sur boutures foliaires sous atmosphère confinée, l'UMR AE a montré l'intérêt de l'utilisation des capteurs Twister® et que quelques COV spécifiques étaient émis après application de certains SDP (dont le produit homologué Bastid®), notamment des sesquiterpènes dont le bêta-caryophyllène et l'alpha-farnésène, ainsi qu'une augmentation des stilbènes dans les feuilles. Au vignoble, sur des microplacettes de ceps en production, les signaux sont plus faibles et les résultats en découlant plus difficiles à interpréter. La première méthodologie de capture des COV qui a été entreprise n'a pas été idéale face à une atmosphère ouverte et de nombreux paramètres non maîtrisables, celle-ci a ensuite été modifiée en utilisant l'ensachage des rameaux pour concentrer l'adsorption des COV sur les capteurs. De plus, le produit SDP Bastid® n'a induit que de faibles niveaux de protection contre le mildiou dans les pathotests sur disques de feuilles et pas de protection au vignoble. A partir des résultats cumulés sur trois années successives, présentant trois conditions climatiques extrêmement différentes, le triptyque initial n'a pas été établi pour cette partie terrain. Cependant, des profils généraux d'émission de COV peuvent être mis en évidence, avec une proportion non négligeable de terpènes bêta-ocimène et de bêta-caryophyllène dans les « bouquets » émis par des parcelles de vigne élicitées.

Mots-clés : Composés Organiques Volatils, Plasmopara viticola, SDP, viticulture, biocontrôle

Abstract: CODEVI-SDP - Quantification and identification of grapevine volatile organic compounds as an indicator of defense response after an application of Plant Defence Inducer

Volatile organic compounds (VOCs) are molecules emitted into the air by the plant during a stress, as the attack of a pest. The objective of the CODEVI SDP project (2017-2019) was to characterize the VOCs emitted by the vine after being treated with registered Plant Defence Inducers (PDI) and to inform whether there is a correlation between this emission and the resistance induced against downy mildew (P. viticola). This emission measurement could be an index to validate a plant response to the action of a PDI application and to improve their practical use at the vineyard. The project was conducted in Burgundy and Bordeaux vineyards and joined research and technical teams (UMR AE, IFV and University of Bordeaux) of these territories for the experimentations. The expertise in the measurement and analysis of VOCs was provided by the ICOA laboratory (CNRS Orléans). The main part of the measurements was carried out based on the theoretical triptych that should follow the application of the PDI: emission of VOCs by the vine / expression of defence molecules in the leaves / efficiency in control of P. viticola. In controlled conditions, using leaf cuttings under confined atmosphere, UMR AE showed the performance of Twister® sensors, and that some specific VOCs were emitted after application of PDIs (including the registered product Bastid®), notably the sesquiterpenes beta-caryophyllene and alpha-farnesene and an increase of stilbenes in leaves. Nevertheless, straight correlation between those production and protection against downy mildew is not obvious and rather suggests combined actions of numerous molecules to build an efficient defence. In the vineyard, on microplots of vines, the results are less clear and the signals weaker. The first VOCs capture methodology that was proposed was not indicative in a such open atmosphere and in presence of numerous uncontrollable parameters. Thus, it was modified with bagged branches to concentrate the VOCs response on the sensors. Moreover, the PDI Bastid® showed only poor levels of protection against downy mildew in the pathotests performed on leaf discs and no control in the vineyard. From the results harvested during the three years, under three extremely different environmental conditions, the initial triptych was not established in this part of the project. Nevertheless, some global profiles could be highlighted, with noticeable terpene amounts of beta-ocimene and beta-caryophyllene within the scent of the elicited vineyard.

Keywords: Volatile Organic Compound, Plasmopara viticola, grapevine, Plant Defence Inducer

Introduction

Les composés organiques volatils (COV) sont des molécules qui peuvent être synthétisées et émises par les végétaux dans l'atmosphère. Le rôle biologique des COV est varié : ils participent à la communication intra-espèces notamment dans la mise en place des défenses, signaler une agression, ou inter-espèces telle que l'attraction d'insectes bénéfiques comme des pollinisateurs ou auxiliaires. Ces molécules appartiennent à la famille des terpénoïdes, des benzoates, des GLV (Green Leaf Volatiles), qui sont des alcools et des aldéhydes.

Les Stimulateurs de Défense des Plantes (SDP) sont des produits de protection qui agissent en activant les défenses du végétal pour lui permettre de mieux résister à des attaques ultérieures d'agents pathogènes ou de ravageurs. Ce mode d'action est bien connu et a été très largement étudié en conditions contrôlées, avec de bons résultats d'efficacité sur de nombreux couples hôtes/ agents pathogènes. Ce mode d'action se retrouve chez certains produits de biocontrôle.

L'application de la stratégie SDP au vignoble est plus complexe à mettre en œuvre : les résultats obtenus sont généralement variables d'un site ou d'un millésime à l'autre (Aveline et al., 2019) et il est difficile de construire des itinéraires qui intègrent les SDP de façon optimale. Ainsi, un fort besoin d'informations et de connaissances au vignoble sur le mode d'action et les effets des SDP est ressenti. La recherche de marqueurs simples et rustiques pour « visualiser » facilement la mise en place des défenses par la vigne après une application d'un produit SDP et confirmer son efficacité d'induction, illustre ce propos.

En ce sens, les COV pourraient être des marqueurs pertinents. Leur rôle dans la réaction face à des stress est connu, et plusieurs méthodes ont été développées pour mesurer et quantifier ces molécules dans l'atmosphère. Des travaux préliminaires réalisés par l'UMR AE de Dijon ont montré que des COV sont émis à la suite d'une application d'un SDP, suggérant qu'ils puissent être intégrés aux réponses de défense de la plante (Chalal et al., 2015).

Le projet CODEVI-SDP se base sur l'hypothèse suivante : les COV peuvent-ils représenter un marqueur pertinent de l'induction et de la mise en place des défenses de la vigne après application d'un produit SDP ? Pour répondre à cette question, quatre partenaires ont été réunis pour mener le projet de 2017 à 2019 : l'UMR Agroécologie de Dijon, qui a réalisé les travaux en conditions contrôlées et au vignoble, l'IFV Pôle Bordeaux Aquitaine qui a réalisé des essais au vignoble, l'Université de Bordeaux qui a analysé les composés relatifs aux défenses, et enfin l'ICOA d'Orléans qui a réalisé les analyses des COV collectés.

Dans le projet, un triptyque s'organise autour des indicateurs : les COV émis (caractérisation des molécules et analyse quantitative), le taux de stilbènes (molécules liées aux défenses de la vigne) contenu dans les feuilles traitées et la protection contre le mildiou (*P. viticola)*. Les relations entre ces trois indicateurs permettront de connaître et de comprendre le lien entre COV, métabolites de défense de la plante et l'état de résistance de la vigne contre le mildiou. L'hypothèse établie étant l'obtention d'une corrélation positive qui pourrait relier l'émission de COV spécifiques à une mise en place des défenses et à une protection efficace contre le mildiou. Les COV identifiés pourraient alors être utilisés comme marqueurs de réaction de défense de la vigne induite par l'application d'un SDP.

1. Les essais au laboratoire et conditions contrôlées

1.1 Méthodologie

Les essais au laboratoire ont tout d'abord porté sur l'étude de la capacité de capteurs passifs « Twister® » à capter les COV. Les capteurs utilisés dans de précédentes études étaient des fibres recouvertes d'un polymère absorbant SPME (Solid-Phase-Micro Extraction). Ces fibres présentent des désavantages comme un manque de de sensibilité dû à leur faible surface de matière adsorbante et leur fragilité requiert une manipulation délicate. Le recours à d'autres capteurs semblait être un choix plus pertinent pour la conduite du projet au vignoble, les capteurs Twister® sont de petits barreaux aimantés de 2 centimètres de longueur, enrobés d'une matrice de polymère plus grande que les fibres SPME et moins fragiles à l'emploi. L'UMR AE a montré dans des essais en conditions contrôlées que les Twister® permettaient d'obtenir un meilleur signal en captant d'avantage de COV que les fibres SPME en qualité (notamment les terpènes linéaires ou oxygénés) et en quantité (Lemaître-Guillier et al., 2017).

Les essais en conditions contrôlées ont été réalisés sur des boutures herbacées de vigne (cépage Marselan). L'ensemble des boutures traitées avec un des produits SDP (Tableau 1) a été placé dans des « tentes », permettant d'obtenir une atmosphère confinée et d'individualiser les modalités. Un ensachage individuel des boutures avait été proposé mais il avait été démontré que ce principe créait un stress pour les plantes, certainement dû à une forte hygrométrie, induisant une forte production de COV. Cet important bruit de fond est défavorable à la mesure et il n'est pas généré avec le dispositif sous tente. Pour chaque modalité, six boutures ont été regroupées sous une même tente. Deux ou 3 capteurs Twister® (Figure 1) ont été placés pendant 4 h dans le feuillage à un jour (J+1) puis 3 (J+3) et 5 jours (J+5) après traitement au SDP. Parallèlement, des feuilles ont été prélevées à un jour puis tous les deux jours jusqu'au huitième (J+1, J+2, J+4, J+6 et J+8) pour une analyse des stilbènes. Enfin des feuilles ont été prélevées deux jours après le traitement au SDP (J+2) pour être inoculée par P. *viticola* et ainsi réaliser un pathotest sur disques foliaires.

a)  b) 

Figure 1 : a) dispositif de capture avec un barreau Twister® dans une boule à thé accrochée au feuillage ; b) dispositif « tente » pour créer une atmosphère confinée autour des boutures foliaires (UMR AE)

Six produits (Tableau 1) ont été testés pour les essais en conditions contrôlées. Ils ont été choisis pour leur mode d'action SDP déjà renseigné et/ou pour leur disponibilité auprès des viticulteurs en tant que produit phytosanitaire homologué utilisable en protection de la vigne.

Tableau 1 : Eliciteurs testés dans le projet

Nom du produit	Origine et composition	Homologation	Essais
Bastid®	COS-OGA	Sur mildiou-oïdium/vigne Biocontrôle	Serre Vignoble
Bion®	Acylbenzolar-S-Methyl	Non homologué sur vigne	Serre
Roméo®	Cerevisane (extrait de paroi de levures Saccharomyces)	Sur mildiou-oïdium/vigne Biocontrôle	Serre
Redeli®	Sodium diphosphate	Sur mildiou/vigne Biocontrôle	Serre
Chitosane	Acide chito-oligosacharidique (COS)	Non homologué sur vigne	Serre Vignoble
OG	Acide oligo-galacturonique (OGA)	Non homologué sur vigne	Serre

1.2 Résultats obtenus en condition contrôlées

A l'issue des différentes expérimentations, il apparait que le Bastid® (COS-OGA) induit la production de 7 COV de manière spécifique par rapport au témoin, dont 2 sesquiterpènes : l'alpha-farnésène et le bêta-caryophyllène et, deux autres composés, le toluène et le décanal. Trois autres COV ont été retrouvés mais ils ne sont théoriquement pas synthétisables par les végétaux et les expérimentateurs ne peuvent pas expliquer leur présence. En termes de cinétique, la présence des 7 COV diffère après l'application du SDP. Une seule molécule, l'alpha-farnésène, se retrouve lors de chaque temps et elle est toujours fortement émise en réponse au traitement Bastid®.

Deux autres SDP commercialisés ont été testés (Redeli® et Roméo®). La comparaison des profils de de COV produits en réponse à ces éliciteurs a mis en évidence une liste spécifique de 12 COV communs (Figure 2). Il s'y retrouve notamment le beta-caryophyllène et l'alpha-farnésène. Enfin, le Bion® (acyl benzolar-S-méthyl) et le chitosane ont été testés à titre de SDP de référence utilisés au laboratoire. Les expérimentateurs retrouvent une fois de plus des COV exprimés de façon spécifique avec notamment les GLV (Green Leaf Volatiles) et quelques COV déjà identifiés lors de l'application des autres SDP du projet.

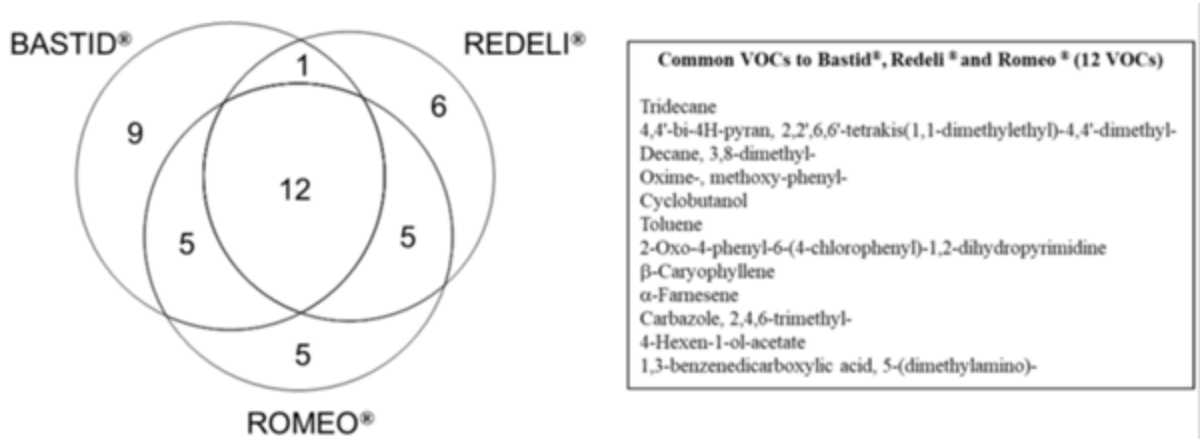


Figure 2 : Diagramme de Venn qui représente les COV communs aux 3 éliciteurs Bastid®, Roméo® et Redeli® sur modèle boutures foliaires en atmosphère confinée (Lemaître-Guillier et al., 2021)

Les SDP testés ont tous induit une protection contre le mildiou dans les pathotests réalisés à partir de disques de feuilles issues des boutures traitées, entre 83 et 100% d'inhibition par rapport au témoin non traité.

Les analyses des composés stilbéniques (resvératrol et picéide) montrent que la teneur de ces 2 molécules est plus importante dans les échantillons de feuilles issues des modalités traitées avec l'éliciteur Bastid® dans les jours suivants l'application (à 2 jours post-traitement jusqu'à 8 jours après traitement).

2. Les essais au vignoble

2.1 Méthodologie

Au vignoble, et cela durant 3 millésimes (2017, 2018 et 2019), les travaux ont été réalisés sur des parcelles en production dans le Bordelais avec un cépage Cabernet franc et en Bourgogne un cépage Chardonnay sur un dispositif en petites placettes d'une dizaine de ceps répétées quatre fois par modalité. Les modalités sont constituées d'un témoin non traité, d'une référence fongicide cuivre, d'une modalité SDP (Bastid®) et pour la Bourgogne d'une modalité SDP Chitosane. Les traitements ont été réalisés avec des pulvérisateurs à dos. Le choix du SDP s'est porté vers le Bastid®, une spécialité à base de COS-OGA, récemment homologuée contre le mildiou de la vigne et listé biocontrôle. Le COS-OGA contient des fragments d'oligosagalacturoniques (OGA) et de chitine (COS), molécules élicitrices des défenses des plantes. Ce produit a pour avantage d'être utilisable dans des conditions de production et facilement accessible pour le viticulteur.

La saison viticole a été découpée en trois grandes fenêtres : « débourrement jusqu'à boutons floraux séparés », « floraison – nouaison », et enfin « fermeture de la grappe- début véraison ». Au sein de chacune de ces fenêtres, la vigne a été traitée avec le SDP Bastid® de 2 à 4 fois (renouvellement tous les 7 à 10 jours). Après le dernier traitement de la fenêtre correspondante, on déploie le programme de mesure et/ou de prélèvements (Figure 3) à savoir : la pose des capteurs COV Twister® (3, 5 et 7 jours après traitement), le prélèvement de feuilles pour d'une part la réalisation d'un pathotest mildiou au laboratoire et d'autre part la caractérisation des molécules de défense (2 et 9 jours après traitement). La capture des COV a évolué sur les trois millésimes d'expérimentation. La première année (2017), les capteurs Twister ont été placés dans le cœur du feuillage pendant 4h. La deuxième année (2018), les capteurs ont été laissés plus longtemps dans le feuillage de 12 à 36h. Pour la dernière année (2019), les capteurs ont été associés à des rameaux ensachés choisis sur les ceps des modalités, dans une atmosphère confinée, pendant 4h (Figure 4).

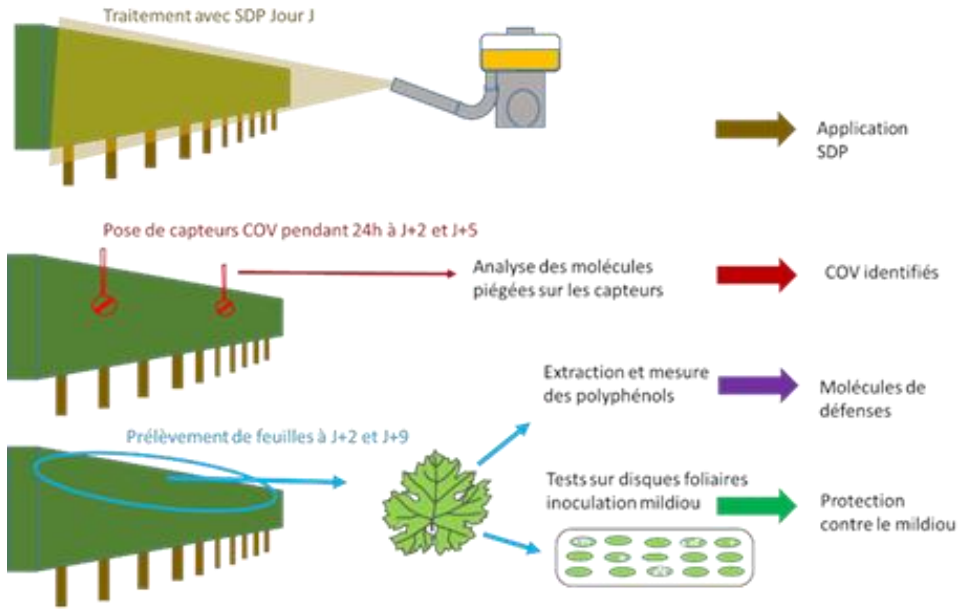


Figure 3 : Schéma du programme d'intervention au vignoble



Figure 4 : Photographie de rameaux ensachés au vignoble provenant d'essai de Bordeaux (IFV, 2019)

2.2 Résultats obtenus au vignoble

2.2.1 Les COV capturés

Pour les essais menés dans le Bordelais, le bouquet de COV ne permet pas de distinguer les modalités de contrôles des SDP. Une différence a été observé entre les bouquets de COV mesurés dans la vigne et hors de la vigne. En Bourgogne, l'analyse ciblée de 6 composés indique une plus forte émission de COV à 5 jours après le traitement (T+5). Toutefois, cette stratégie expérimentale montre à nouveau que les traitements ne se distinguent pas par leur bouquet de COV émis. L'UMR AE a également travaillé en 2019 spécifiquement sur d'autres méthodes de capture dynamique de COV au vignoble, notamment à l'aide de pompe (volume d'air capturé plus important) sur d'autres support d'adsorption (Tenax® et Needle Trap®) et analyse in situ par GC-MS portative (Figure 5). Ces deux méthodes nécessitent aussi un ensachage de rameaux pendant 4h (Figure 4). Les résultats obtenus ont été encourageants et nécessiteraient d'être confirmés.

a)  b)  

Figure 5 : Collecte dynamique (sous aspiration) des COVs au vignoble : a) sur capteur Tenax®, à l'intérieur du sac et relié à une pompe manuelle b) sur NeedleTrap, à l'intérieur du sac et relié à une pompe manuelle) avant désorption et analyse in situ sur GC-MS portative (Torion PerkinElmer) (essai Bourgogne UMR AE 2019)

2.2.2 Efficacités des SDP contre *P. viticola*

Sur les essais au vignoble, en fin de saison l'attaque du mildiou est visible sur les feuilles et les grappes de l'ensemble des placettes. Les résultats obtenus n'ont pas montré un effet du traitement Bastid® par fenêtre (début de saison, floraison, fermeture) encadré par des traitements conventionnels sur l'attaque globale du mildiou. Les pressions parasitaires, paramètre non négligeable, ont été très fluctuantes : 2017 et 2019 ont été des années à faible pression assez tardive, alors que 2018 a été marquée par une forte pression dès le début de la saison. De plus, d'un point de vue climatique, 2017 fut très humide et 2019 une année très chaude et sèche.

En parallèle, 23 pathotests mildiou ont été réalisés sur du matériel végétal provenant des essais au vignoble : 8 feuilles minimum ont été prélevées par placette, soit 32 par modalité, les feuilles choisies étaient des feuilles jeunes (3-4ème feuille en partant de l'apex), sensibles au mildiou. Des disques foliaires y ont été découpés puis inoculés au laboratoire par une suspension de spores de mildiou. Le niveau de maladie (fréquence d'apparition et intensité de sporulation) a été évalué après 7 jours d'incubation. Généralement, les pathotests sont délicats à réaliser car le matériel végétal diffère d'une fenêtre à l'autre et il est très influencé par les conditions extérieures.

Sur l'ensemble des essais pathotests disques issus de feuilles prélevées sur les différentes modalités, il a pu être noté une légère efficacité du Bastid®, le plus souvent sur les prélèvements de début de saison et deux jours après application. L'efficacité est qualifiée comme légère car elle concerne surtout la surface foliaire présentant une sporulation (intensité d'attaque) plutôt que le nombre de disques touchés (fréquence d'attaque), et parfois les résultats se situent plus dans des tendances ou des positionnements intermédiaires entre le témoin non traité et la référence cuivre (essais à Bordeaux). Ainsi, le Bastid® ne semble pas représenter une « référence » de produit SDP efficace contre le mildiou. Néanmoins, les tendances de protection se sont répétées sur des sites et cépages différents, ce qui confirme cette efficacité légère et partielle

2.2.3 Analyses des stilbènes issus des feuilles

A partir des échantillonnages de feuilles réalisés sur les placettes au vignoble, une quantité importante de matériel a été mise à disposition. En effet, chaque année, environ 200 échantillons en provenance de la totalité des essais ont été générés. Les échantillons ont été traités de manière minutieuse avant leur

analyse par chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC): congélation, lyophilisation, extraction des polyphénols par solvant, conditionnement.

Les échantillons ont été analysés par l'axe MIB de l'UR Œnologie - Université de Bordeaux au sein de l'ISVV. Pour se faire, les extraits phénoliques obtenus précédemment ont été analysés par HPLC couplée à un spectromètre de masse. Ainsi les composés présents peuvent être identifiés et quantifiés. La teneur de chaque composé identifié et présent en quantité suffisante pour pouvoir être dosé a été comparée entre modalité traitée et témoin non traité.

Les résultats ne montrent pas de différences spectaculaires entre les échantillons traités par le Bastid® et le témoin. Néanmoins, en ce qui concerne les expérimentations menées sur Bordeaux, quelques changements de teneur sont notables pour les picéides (trans et cis) et l'astringine. Ainsi, la caractérisation des évolutions de taux de polyphénols suite à l'application d'un SDP, reste beaucoup plus diffuse que ce qu'il est possible de mesurer lors des essais en conditions contrôlées, appuyant une fois de plus la difficulté de mesurer l'effet d'un SDP au vignoble.

3. Discussion et perspectives

Pour la partie du projet qui se déroulait en conditions contrôlées, les conclusions sont très encourageantes : on retrouve un bouquet de COV émis lors de l'application de produits à mode d'action SDP, dont certains sont communs. Ces COV ne peuvent pas être qualifiés de spécifiques à la stimulation des défenses par les SDP car ils sont cités dans la littérature comme émis lors d'autres stress (attaque de ravageur par exemple). Le lien avec le niveau de protection contre le mildiou est aussi difficile à qualifier car les niveaux de COV, de stilbènes et l'efficacité de protection obtenue peuvent varier. Ainsi les trois points du triptyque proposé dans le projet s'y retrouvent. Au vignoble, ces résultats se heurtent à la difficulté de maîtriser le dispositif expérimental *in natura* où de nombreux facteurs biotiques (physiologie de la vigne, bioagresseurs…) et abiotiques (climat, sol…) varient tout au long d'une saison.

La méthodologie de capture reste encore à améliorer, surtout dans la perspective d'en faire un indicateur de routine au vignoble. Le choix du produit SDP serait aussi à reconsidérer : le COS-OGA n'a pas fourni de résultats satisfaisants au vignoble, notamment en termes de protection contre le mildiou. D'autres candidats SDP seraient à tester pour éprouver la méthodologie mais, actuellement, les produits commerciaux homologués en vigne avec action SDP sont rares : COS-OGA, Cérévisane et laminarine. Des travaux complémentaires sur l'influence des cépages serait aussi une voie à investiguer : certains cépages sont peut-être plus réactifs et émetteurs de COV que d'autres. Les variétés résistantes au mildiou peuvent être notamment citées, elles sont connues pour mobiliser efficacement leurs défenses et lutter rapidement contre *P. viticola*.

Des travaux réalisés par l'Université italienne de San Michele all'Adige ont été publiés (Lazazzara et al, 2018) au cours du projet. Ils se penchent aussi sur l'effet des COV à induire eux-mêmes des réactions de défense chez la vigne. Dans cet article, les recherches ont été menées en conditions contrôlées en utilisant des disques de feuilles de variétés résistantes au mildiou. De plus, la méthodologie de mesure des COV diffère fortement de celle appliquée dans notre projet : les teneurs de COV ont été évaluées à partir de broyats d'échantillons de feuilles. Autrement dit, les COV ont été quantifiés dans les tissus de la vigne directement. Cette méthodologie est efficace car elle permet d'éviter la captation complexe des COV en milieu ouvert. Cependant elle ne permet pas d'appréhender la quantité de COV libérés dans l'atmosphère, ce qui constituait le cœur de notre projet : trouver « le marqueur » d'intérêt à mesurer au vignoble pour évaluer l'efficacité d'un traitement SDP. La méthodologie présentée dans l'article pourrait néanmoins présenter une amélioration de nos protocoles en rajoutant une étape de validation dans le triptyque déjà constitué. Ainsi, on pourrait mettre en évidence ou non la synthèse des COV au sein de la feuille suite à l'application des SDP au vignoble puis corréler ces résultats avec les mesures de COV depuis l'atmosphère. Ainsi, une validation ou amélioration pourrait être réalisée des techniques de capture

pour s'approcher au plus juste des taux de composés constatés dans les feuilles. Enfin, l'article montre que les COV identifiés sont à la fois des marqueurs de la mise en place des défenses et des activateurs de défenses entre les différents tissus. Ce résultat apporte encore un intérêt au choix des COV comme voie à investiguer pour trouver des indicateurs de stimulation.

Actuellement, les pistes proposées par le projet CODEVI-SDP sont reprises dans deux grands projets :

- Le projet ABA-PIC (Accélération du Biocontrôle et des Agroéquipements pour la Protection Intégrée des Cultures) projet coordonné par l'ACTA dans le cadre du Plan de Relance. Il rassemble les instituts techniques agricoles autour de différents thèmes et notamment une partie sur l'usage et l'étude des COV au champ.
- Le projet VITAE. Il s'agit d'un projet de l'INRAE, conduit dans le cadre du Programme Prioritaire de Recherche « Cultiver et Protéger Autrement » qui rassemble plusieurs UMR (dont l'UMR AE de Dijon et l'UMR SAVE de Bordeaux) sur le sujet de la culture de la vigne sans pesticides. Parmi les grands thèmes d'investigation, le WP2 se focalise sur le développement du biocontrôle dont les stimulateurs de défense de la vigne.

Conclusion

Le projet CODEVI-SDP a permis de défricher un sujet en relation aux COV encore peu commun pour la filière viticole, contrairement à d'autres cultures. Les travaux en conditions contrôlées et sous atmosphère confinée ont confirmé l'intérêt des COV comme marqueurs d'une réaction de la vigne à l'application d'un SDP (dont des produits déjà homologués et présents sur la liste Biocontrôle) avec l'identification d'un pool commun d'une douzaine de COV. Ils ont aussi confirmé l'effet des SDP sur les taux de molécules de défense et en partie sur la protection contre *P. viticola*. Le transfert sur le terrain s'est révélé plus complexe et la méthodologie de capture nécessite des améliorations pour concentrer l'adsorption des COV de façon efficace. Cette difficulté s'additionne à la fragilité au vignoble des produits SDP en termes de protection contre le mildiou et d'élicitation. Il est important de continuer les travaux dans la continuité des essais réalisés la dernière année du projet pour finaliser les améliorations méthodologiques et tenter de retrouver le bouquet de COV mis en évidence en conditions contrôlées.

Le projet a permis une grande avancée dans les méthodologies de capture et d'interprétation mais aussi dans la connaissance des profils de COV émis par la vigne en réponse à des SDP. Des bases ont ainsi été établies pour de nouveaux projets sur l'utilisation des COV dans le biocontrôle mais aussi plus généralement pour la protection de la vigne. Bien d'autres applications des COV peuvent être imaginées pour mesurer les réactions de la vigne face à divers stress physiologiques ou générés par des bioagresseurs sur les parcelles.

Références bibliographiques

Aveline N., Dupin S., Bidaut F., Daire X., 2019. Les stimulateurs de défense des plantes en viticulture. Phytoma. 723, pp.6.

Chalal M., Winkler J.B., Gourrat K., Trouvelot S., Adrian M., Schnitzler J.P., Jamois F., Daire X., 2015. Sesquiterpene volatile organic compounds (VOCs) are markers of elicitation by sulfated laminarine in grapevine. Frontiers in Plant Science, 6, 350-350.

Ehrhard F., 2020. A bonnes défenses, bonnes odeurs. La vigne N°334, octobre 2020

Lazazzara V., Bueschl C., Parich A., Pertot I., Schuhmacher R., Perazzolli M., 2018. Downy mildew symptoms on grapevines can be reduced by volatile organic compounds of resistant genotypes - Scientific Reports 8 (2018):14p.

Lemaitre-Guillier C., Daire X., Aveline N., Douillet A., Chartier A., Dufresne C., *et al.*, 2017. Volatilomics in the vineyard. (Poster) Marne La Vallée : Conférence de Spectrométrie de Masse, Métabolomique et Fluxomique & Electrophorèse et Analyse Protéomique.

Lemaître-Guillier C., Dufresne C., Chartier C., Cluzet S., *et al.*, 2021. VOCs are relevant biomarkers of elicitor-induced defences in grapevine. Molecules, MDPI, 26 (14), 1-18

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)