

APPEL A PROJETS

FONDS REGIONAL DE COOPERATION POUR LA RECHERCHE

FICHE SYNTHETIQUE – à déposer avant le 24 janvier 2019
auprès de l'Université de rattachement du porteur de projet

Intitulé du projet de recherche : VitEst : Programme de recherche pour la santé de la vigne en Région Grand Est

Acronyme : VitEst

Unités de recherche coordinatrices :

- UMR 1131 INRA-Université de Strasbourg « Santé de la Vigne et Qualité du Vin », INRA Grand Est Centre de Colmar
- EA 4707 - Université de Reims Champagne Ardenne « Résistance Induite et Bio-protection des Plantes »

Responsables(s) du projet : HUGUENEY Philippe (DR INRA), CLÉMENT Christophe (PR URCA)

Territoires des porteurs de projet : Alsace, Champagne Ardenne

Mots clés liés au projet : santé de la vigne, maladies du bois, mildiou, vignes naturellement résistantes, viticulture durable

Thématique ou filière du projet (cochez la case concernée)

Les sciences, les matériaux, procédés, technologies de production en lien avec l'industrie du futur : advanced manufacturing, fabrication d'équipements et de machines, matériaux fonctionnels, ...

la Bio-économie (agro-transformation alimentaire dont la viticulture et non alimentaire, gestion de la ressource, carbone renouvelable)

Les 6 filières en lien avec les S3 et les pôles de compétitivité :

les matériaux, procédés, technologies de production en lien avec l'industrie du futur advanced manufacturing, fabrication d'équipements et de machines, matériaux fonctionnels, ...);

les agro-ressources ;

la santé incluant les biotechnologies, les technologies médicales, la e-santé, les matériaux pour la santé et la silver économie ;

le bâtiment durable ;

la mobilité durable, l'intermodalité, la logistique et les transports (y compris aéronautique et automobile) ;

l'eau (actions en faveur de l'amélioration durable de l'eau sous toutes ses formes).

Les filières d'intérêt régional à fort potentiel :

le numérique (y compris la cyber-sécurité, l'industrie culturelle et créative, les objets connectés dans le cadre de la smart city, la smart agriculture),

l'énergie (photovoltaïque, éolien, méthanisation, hydrogène, ...),

l'architecture, la forge, la fonderie, le bois, ...

Présentation des unités de recherche impliquées dans le projet

Unités de recherche coordinatrices	Unité(s) de recherche ALSACE	Unité(s) de recherche CHAMPAGNE-ARDENNE	Unité(s) de recherche LORRAINE
SVQV, UMR 1131 INRA-Université de Strasbourg RIBP, EA 4707-Université de Reims Champagne Ardenne	SVQV , UMR 1131 INRA-Université de Strasbourg Équipes : Génétique et Amélioration de la Vigne (GAV); Métabolisme Secondaire de la Vigne (MSV) Statutaires impliqués : 8 Disciplines : Physiopathologie, génétique, métabolomique	RIBP , EA 4707-Université de Reims Champagne Ardenne Équipes : Immunité et Micro-organismes Bénéfique (IMB) – F. Fontaine; Immunité et Changement Climatique (ICC) – E. Ait Barka Statutaires impliqués : 20 Disciplines : Physiopathologie, microbiologie, biocontrôle, métabolisme carboné	IAM , UMR 1136 INRA-Université de Lorraine. Équipe : Réponse aux stress et régulation redox. Statutaires impliqués : 6 Discipline : Biochimie, physiologie microbienne
	LVBE , EA3991-Université de Haute Alsace Statutaires impliqués : 8 Disciplines : Phytopathologie, physiologie de la vigne, microbiologie		
	IBMP UPR2357 CNRS-Université de Strasbourg Équipe « Evolution et Diversité du Métabolisme des Plantes » Statutaires impliqués : 3 Discipline : Biochimie, biologie moléculaire, métabolomique		

Présentation des unités de recherche coordinatrices :

Partenaire 1 : UMR 1131 INRA-Université de Strasbourg Santé de la Vigne et Qualité du Vin, INRA Grand Est Centre de Colmar

L'UMR « Santé de la Vigne et Qualité du Vin » (SVQV) conduit des recherches sur les maladies de la vigne, fongiques et virales, parmi les plus préjudiciables pour le vignoble français. Grâce à la compréhension des interactions entre la vigne et ses agresseurs et de l'élaboration de la qualité des raisins, les recherches visent à proposer des solutions innovantes répondant aux enjeux d'une viticulture durable. L'UMR SVQV associe des personnels permanents de l'Inra, de l'Université de Strasbourg et de l'Université de Haute Alsace (54 statutaires). Elle est structurée en trois équipes qui développent des programmes de recherche interconnectés : « Génétique et Amélioration de la Vigne » (GAV), « Métabolisme Secondaire de la Vigne » (MSV) et « Virologie-Vection ». Le programme « Résistance durable de la vigne aux bioagresseurs » vise à identifier les mécanismes de résistance naturels au mildiou et à l'oïdium existant chez les vignes sauvages et à étudier leur efficacité et leur durabilité. Ces caractères de résistance sont ensuite introduits, par hybridation, dans des fonds génétiques cultivés pour créer des variétés résistantes. Afin de garantir la qualité viti-vinicole et l'adaptation au changement climatique des variétés résistantes, les bases génétiques de la qualité des raisins et du développement de la vigne sont également étudiées, grâce à la combinaison d'approches de génétique, de métabolomique et de génomique structurale et fonctionnelle. Le projet VitEst sera conduit conjointement par les équipes GAV et MSV.

Activité et reconnaissance : L'UMR SVQV a mené le programme Inra-ResDur1 qui a abouti à la création de quatre nouvelles variétés de vigne à résistance polygénique au mildiou et à l'oïdium, qui sont actuellement les plus abouties sur le marché. Ces nouvelles variétés représentent une avancée considérable pour l'innovation variétale en viticulture, grâce à leur résistance aux principales maladies fongiques foliaires et à leurs très bonnes qualités organoleptiques (<http://www.vignevin.com/recherche/creation-varietale/varietes-resistantes.html>).

Publications significatives :

Delame et al. (2018) Introgression reshapes recombination distribution in grapevine interspecific hybrids. **Theor Appl Genet**. doi: 10.1007/s00122-018-3260-x. [Epub ahead of print]

Hily JM et al. (2018) Metagenomic-based impact study of transgenic grapevine rootstock on its associated virome and soil bacteriome. **Plant Biotechnol J** 16 :208-220.

Pelsy F et al. (2015) Chromosome replacement and deletion lead to clonal polymorphism of berry color in grapevine. **PLoS Genet** 11: e1005081.

Magnard JL et al. (2015) Biosynthesis of monoterpene scent compounds in roses. **Science** 349: 81-83.

Partenaire 2 : EA 4707 Résistance Induite et Bioprotection des Plantes (RIBP), Université de Reims Champagne Ardenne

Le laboratoire RIBP (Résistance Induite et Bio-protection des Plantes) – EA 4707 regroupe 50 personnes (dont 27 statutaires). Les activités de recherche fondamentales portent sur la compréhension de l'expression de l'immunité végétale en réponse à des stress biotiques (phytopathogènes) et abiotiques (température, sécheresse). Les activités plus finalisées se concentrent sur le développement de nouvelles stratégies de protection des plantes, alternatives à la lutte chimique. Il s'agit notamment de stimuler préventivement l'immunité de la plante avec des inducteurs de défense (éliciteurs et micro-organismes bénéfiques). Cette démarche prend en compte les fluctuations climatiques actuelles et à venir qui impactent la physiologie de la vigne et des micro-organismes agresseurs (pathogènes) ou bénéfiques (agents de bio-contrôle). Plus de 70% des projets de l'unité portent sur la vigne et ses maladies, en particulier les maladies du bois (MDB), la pourriture grise et le mildiou. L'unité fait partie des leaders mondiaux du travail sur les MDB, comme en témoignent les nombreux projets internationaux (Interreg, Marie Curie, réseaux Cost, ANR EraNET, H2020...) qu'elle a portés. Citons notamment le portage d'un réseau COST Européen dédié aux maladies du bois (FA 1303, 2013-2017). L'évaluation de l'unité RIBP s'est concrétisée par une évaluation « very good » ou « excellent » sur l'ensemble des critères évalués. La liste des publications de l'unité peut être consultée à l'adresse <https://www.univ-reims.fr/ribp/nos-publications/nos-publications-en-2014-2015/nos-publications-en-2014-2015,22569,37675.html>.

Publications significatives de ces dernières années :

Farace, G, Fernandez, O, Jacquens, L, Coutte, F, Krier, F, Jacques, P, Clément, C, Barka, E A, Jacquard, C, Dorey, S, 2015. Cyclic lipopeptides from *Bacillus subtilis* activate distinct patterns of defence responses in grapevine. **Molecular Plant Pathology** 16, 177–187.

Gruau, C, Trotel-Aziz, P, Villaume, S, Rabenoelina, F, Clément, C, Baillieux, F, Aziz, A, 2015. *Pseudomonas fluorescens* PTA-CT2 Triggers Local and Systemic Immune Response Against *Botrytis cinerea* in Grapevine. **Molecular Plant-Microbe Interactions** 28, 1117–1129.

Vatsa-Portugal, P, Aziz, A, Rondeau, M, Villaume, S, Morjani, H, Clément, C, Ait Barka, E (2017). How *Streptomyces anulatus* Primes Grapevine Defenses to Cope with Gray Mold: A Study of the Early Responses of Cell Suspensions. **Frontiers in Plant Science** 8.

Magnin-Robert, M, Adrian, M, Trouvelot, S, Spagnolo, A, Jacquens, L, Letousey, P, Rabenoelina, F, Harir, M, Roullier-Gall, C, Clément, C, Schmitt-Kopplin, P, Vallat, A, Abou-Mansour, E, Fontaine, F (2017) Alterations in Grapevine Leaf Metabolism Occur Prior to Esca Apoplexy Appearance. **Molecular Plant-Microbe Interactions** 30, 946–959.

Mondello, V, Songy, A, Battiston, E, Pinto, C, Coppin, C, Trotel-Aziz, P, Clément, C, Mugnai, L, Fontaine, F, 2018. Grapevine Trunk Diseases: A Review of Fifteen Years of Trials for Their Control with Chemicals and Biocontrol Agents. **Plant Disease** 102, 1189–1217.

Pinto, C, Custodio, V, Nunes, M, Songy, A, Rabenoelina, F, Courteaux, B, Clément, C, Gomes, A C, Fontaine, F, 2018a. Understand the potential role of *Aureobasidium pullulans*, a resident microorganism from grapevine, to prevent the infection caused by *Diplodia seriata*. **Frontiers in Microbiology** 9.

I. Unité(s) de recherche partenaire(s) (à dupliquer autant de fois que nécessaire)

Présentation de l'unité de recherche :

Partenaire 3 : Laboratoire Vigne, Biotechnologies et Environnement, Université de Haute-Alsace

Le Laboratoire Vigne Biotechnologies et Environnement (LVBE) EA-3991 est composé de 19 enseignants chercheurs permanents, 2 ingénieurs d'études et 1 technicienne et accueille actuellement 3 doctorants et 3 chercheurs postdoctoraux. Cette équipe a pour principale orientation l'ingénierie agro-environnementale du vignoble. Le laboratoire fédère des enseignants-chercheurs dont les compétences sont reconnues dans l'étude des interactions vigne-pathogènes. Les membres du LVBE ont ainsi acquis une expertise reconnue concernant les réactions de défense de la vigne suite à certains stress biotiques, et plus particulièrement dans l'étiologie des maladies du bois de la vigne (MDB). Récemment, le LVBE a initié plusieurs approches afin de lutter contre ces maladies dont le développement est une préoccupation majeure pour la filière viti-vinicole. Cette équipe a ainsi mis en évidence que la vigne sauvage *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris* présente une bonne tolérance face aux MDB et pourrait constituer une ressource génétique intéressante. Le laboratoire étudie également le développement de nouveaux moyens de lutte *via* la stimulation des défenses de la plante notamment grâce à la mycorhization et le développement de molécules antifongiques. Le laboratoire possède également une expertise dans l'identification et la caractérisation des facteurs de virulence des champignons associés aux MDB, ainsi que dans la compréhension des mécanismes de défense de la vigne suite à l'infection. L'objectif final de ces travaux est le développement de moyens de lutte innovants (curatifs et préventifs) contre les MDB.

Publications significatives :

Bénard-Gellon M., Farine S., Goddard M-L., Schmitt M., Stempien E., Pensec F., Laloue H., Mazet-Kieffer F., Fontaine F., Larignon P., Chong J., Tarnus C., Bertsch C. (2015) Toxicity of extracellular proteins from *Diplodia seriata* and *Neofusicoccum parvum* involved in grapevine *Botryosphaeria dieback*. **Protoplasma** 252, 679-87.

Bruisson S., Maillot P., Schellenbaum P., Walter B., Gindro K., Deglène-Benbrahim L. (2016) Arbuscular mycorrhizal symbiosis stimulates key genes of the phenylpropanoid biosynthesis and stilbenoid production in grapevine leaves in response to downy mildew and grey mould infection. **Phytochemistry**, 131:92-99.

Guan X, Essakhi S, Laloue H, Nick P, Bertsch C, Chong J (2015) Mining new resources for grape resistance against *Botryosphaeriaceae*: a focus on *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris*. **Plant Pathol** 65: 273–284

Stempien E, Goddard ML, Wilhelm K, Tarnus C, Bertsch C, Chong J. (2017) Grapevine *Botryosphaeria dieback* fungi have specific aggressiveness factor repertory involved in wood decay and stilbene metabolism. **PLoS One**. 2017 Dec 20;12(12):e0188766.

Partenaire 4 : Institut de Biologie Moléculaire des Plantes (IBMP) CNRS-UNISTRA UPR2357, Strasbourg ; équipe Evolution et diversité du métabolisme des plantes.

L'équipe « Evolution et diversité du métabolisme des plantes » a pour axe principal de recherche la caractérisation biochimique de voies métaboliques jouant un rôle clé dans l'adaptation des plantes à leur environnement. L'équipe fédère actuellement 11 enseignant-chercheurs et personnels CNRS permanents dont les expertises en enzymologie, ingénierie métabolique et métabolomique sont internationalement reconnues. En intégrant un large éventail de modèles végétaux et d'approches multidisciplinaires, l'équipe cherche à acquérir des connaissances fondamentales sur le métabolisme des plantes au niveau moléculaire, enzymatique et supramoléculaire ainsi que sur ses fonctions écologiques. Nos travaux sont principalement ciblés sur la biosynthèse de biopolymères végétaux de nature phénolique ainsi que sur celle de métabolites spécialisés participant aux réponses de défense chez différentes plantes ou contribuant aux arômes du vin. Ces travaux et expertises seront mis à profit dans le cadre du projet VitEst afin d'étudier la régulation et fonction, dans le cadre des maladies du bois de vigne, des voies du métabolisme phénolique contribuant à la production de composés de défense solubles et de biopolymères.

Activité et reconnaissance : ANR InteGrape, LabCom TerpFactory, Prix Foulon de l'Académie des Sciences

Publications significatives :

Li D, Heiling S, Baldwin IT, Gaquerel E (2016) Illuminating a plant's tissue-specific metabolic diversity using computational metabolomics and information theory. **Proc Natl Acad Sci USA** 113: E7610–E7618

Renault H, Alber A, Horst NA, Basilio Lopes A, Fich EA, Kriegshausler L, Wiedemann G, Ullmann P, Herrgott L, Erhardt M, et al (2017) A phenol-enriched cuticle is ancestral to lignin evolution in land plants. **Nat Commun** 8: 14713

Ilc T, Halter D, Miesch L, Lauvoisard F, Kriegshausler L, Ilg A, Baltenweck R, Huguency P, Werck-Reichhart D, Duchêne E, Navrot N (2017) A grapevine cytochrome P450 generates the precursor of wine lactone, a key odorant in wine. **New Phytol** 213: 264–274

Partenaire 5 : UMR 1136 INRA-Université de Lorraine, Interactions Arbres/Microorganismes (IAM)

Description de l'unité de recherche et de l'équipe qui hébergera le projet.

L'Unité Mixte de Recherche Interactions Arbres / Micro-organismes (IAM) Université de Lorraine / INRA a été créée le 1er janvier 2001. Elle est composée de 46 personnels permanents (31 INRA, 15 UL) et accueille une quarantaine de personnels non-permanents par an. Depuis sa création, la mission première de l'unité IAM est d'approfondir les connaissances sur la biologie et l'écologie des interactions entre micro-organismes et arbres forestiers avec l'objectif d'améliorer la compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers et de pouvoir à terme proposer une gestion durable de ces écosystèmes dans le contexte actuel d'intensification des activités humaines et de changement global. Cette continuité thématique, articulée principalement autour de la compréhension des interactions s'établissant entre les arbres et la cohorte de micro-organismes (bactéries et champignons) qui leurs sont associés, se structure autour de deux axes : la biologie intégrative et l'écologie de ces interactions. Ces axes structurants permettent d'aborder l'étude de ces interactions par des approches multidisciplinaires et complémentaires et ce, à différentes échelles spatio-temporelles.

Impliquée dans la compréhension des mécanismes moléculaires et environnementaux liés à la dégradation du bois, l'expertise de l'équipe dans ce domaine sera mise à profit pour étudier les mécanismes mis en jeu par les microorganismes dans le cadre des maladies de bois de vigne. L'unité pourra notamment mobiliser des compétences allant de la génomique comparative à des approches fonctionnelles.

Activité et reconnaissance : L'unité est impliquée dans le **LABEX ARBRE**

Publications significatives :

Hervé, V., Le Roux, X., Uroz, S., Gelhaye, E., and Frey-Klett, P. (2014) Diversity and structure of bacterial communities associated with *Phanerochaete chrysosporium* during wood decay: Bacteria of the white-rot mycosphere. **Environmental Microbiology** 16, 2238–2252.

Deroy, A., Saiag, F., Kebbi-Benkeder, Z., Touahri, N., Hecker, A., Morel-Rouhier, M., Colin, F., Dumarçay, S., Gérardin, P., and Gelhaye, E. (2015) The GSTome Reflects the Chemical Environment of White-Rot Fungi. **PLOS ONE** 10, e0137083.

Valette, N., Perrot, T., Sormani, R., Gelhaye, E., and Morel-Rouhier, M. (2017) Antifungal activities of wood extractives. **Fungal Biology Reviews** 31, 113–123.

Perrot, T., Schwartz, M., Saiag, F., Salzet, G., Dumarçay, S., Favier, F., Gérardin, P., Girardet, J.-M., Sormani, R., Morel-Rouhier, M., Amusant, N., Didierjean, C., and Gelhaye, E. (2018) Fungal Glutathione Transferases as Tools to Explore the Chemical Diversity of Amazonian Wood Extractives. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering** 6, 13078–13085.

Fernández-González, A. J., Valette, N., Kohler, A., Dumarçay, S., Sormani, R., Gelhaye, E., and Morel-Rouhier, M. (2018) Oak extractive-induced stress reveals the involvement of new enzymes in the early detoxification response of *Phanerochaete chrysosporium*: Early fungal responses to oak extractives. **Environmental Microbiology** 20, 3890–3901.

Description du projet de recherche

Le projet présente un caractère : ■ Fondamental/théorique ■ Appliqué

Contexte du projet : contexte, enjeux économiques, sociétaux, environnementaux, ...Etat de l'art, ...

La viticulture est une activité majeure de l'économie de la Région Grand Est, où 20 000 vignerons produisent annuellement plus de 500 millions de bouteilles de vins effervescents (Champagne et Crémant d'Alsace) et de vins tranquilles (Alsace, Lorraine). Grâce à leur succès à l'exportation (2,6 milliards d'€/an), ces vins contribuent grandement au rayonnement régional et portent l'image de l'excellence française dans le monde entier. La vigne est néanmoins affectée par un grand nombre de maladies d'origine fongique. Parmi ces maladies, certaines comme le mildiou et l'oïdium sont contrôlées par des traitements phytosanitaires ce qui fait de la viticulture l'une des activités agricoles les plus consommatrices de produits phytosanitaires en France et en Europe. En revanche, pour d'autres comme les maladies du bois, à l'origine d'un préoccupant dépérissement des vignobles, aucun traitement n'est actuellement disponible.

La Région Grand Est est à la pointe des recherches pour la santé de la vigne avec une reconnaissance nationale et internationale avérée. Les unités de recherche en Région ont décidé de mettre en synergie leurs compétences et de mutualiser leurs moyens au service d'une recherche concertée et coordonnée sur la santé de la vigne, en lien étroit avec le tissu industriel et professionnel. Les problématiques de la viticulture septentrionale sont particulières et peuvent constituer la pierre angulaire d'une fédération des activités de R&D dans notre Région. En effet, les équipes de l'URCA et de l'UHA s'illustrent dans les recherches portant sur le biocontrôle des maladies fongiques de la vigne (maladies du bois, pourriture grise et mildiou) (Larignon et al., 2009; Bertsch et al., 2013) et les programmes menés à l'INRA ont permis la création de nouveaux cépages résistants au mildiou et à l'oïdium, récemment mis à la disposition des viticulteurs (Journal Officiel du 10 janvier 2018). Néanmoins, la viticulture est toujours confrontée aux deux défis majeurs, qui sont : 1) de réduire les intrants phytosanitaires utilisés contre le mildiou et l'oïdium et 2) de lutter efficacement contre les dépérissements liés aux maladies du bois. Tirant parti des expertises scientifiques complémentaires de toutes les équipes universitaires menant des recherches sur la vigne dans la Région Grand Est, le programme scientifique du projet VitEst est donc organisé en deux volets correspondant à ces deux objectifs.

Présentation synthétique du projet ; objectifs et livrables :

Activité essentielle de l'économie de la Région Grand Est, la viticulture est actuellement confrontée aux défis majeurs que sont la réduction des intrants phytosanitaires et la lutte contre les dépérissements liés aux maladies du bois. Ce projet a pour but de proposer des stratégies innovantes et durables pour relever ces défis en fédérant les forces de recherche régionales. Regroupant toutes les équipes universitaires menant des recherches sur la vigne dans la Région Grand Est, ce projet a deux objectifs scientifiques principaux : 1) mieux comprendre l'étiologie des maladies du bois dans le but de développer des traitements et d'analyser les bases génétiques de la tolérance aux maladies du bois chez la vigne et 2) optimiser l'utilisation des nouveaux cépages résistants au mildiou et à l'oïdium désormais disponibles pour les viticulteurs grâce au développement de stratégies complémentaires de bio-contrôle.

Volet 1 : Maladies du bois de la vigne

Environ 13 % du vignoble français est affecté par les maladies du bois de la vigne (MDB), ce pourcentage variant selon les cépages et selon les régions (Bruez et al., 2013; Mondello et al., 2018). Ces maladies provoquent un dépérissement des ceps conduisant progressivement à leur mort, causant des pertes économiques estimées 1 milliard d'€ par an en France. Depuis l'interdiction de l'arsénite de sodium en 2001, il n'existe pas de traitement efficace pour lutter contre ces maladies. Cette partie du projet vise à mieux comprendre l'étiologie de ces maladies dans le but de développer des traitements ciblés efficaces et d'analyser les bases génétiques de la tolérance de certains cépages aux MDB.

1.1. Compréhension des mécanismes de contamination et d'infection

L'étude de différents cépages a montré une large variation des niveaux de sensibilité à plusieurs champignons liés aux MDB (par ex. *Neofusicocum parvum* et *Diplodia seriata*, des Botryosphaeriaceae liés au *Botryosphaeria dieback*), sans identifier de résistance totale à ces deux champignons. De plus, plusieurs accessions de vigne sauvage *V. vinifera* ssp. *sylvestris* ont montré une plus grande tolérance aux Botryosphaeriaceae après inoculation artificielle dans des bois d'un an (Guan et al., 2015). Cette tolérance de *V. sylvestris* s'accompagne d'une expression plus intense et plus précoce de certains gènes de défense dans le bois, en particulier ceux impliqués dans la synthèse des métabolites de défense comme les stilbènes (Spagnolo et al., 2017). Les mécanismes d'infections par les différents champignons liés aux MDB et les défenses basales et induites associées seront analysés qualitativement et quantitativement dans une large sélection

de cépages, clones et espèces de vigne, en utilisant les biomarqueurs de la sensibilité et/ou de la tolérance aux MDB caractérisés par les équipes du consortium. Il a en effet été démontré que les symptômes sont précédés par des modifications physiologiques (arrêt de la photosynthèse notamment) qui sont détectables plusieurs semaines avant leur apparition (Fontaine et al., 2015).

Parallèlement, nous proposons d'étudier finement les mécanismes de dégradation du bois par ces mêmes champignons liés au MDB. En effet, au sein des écosystèmes forestiers, les champignons dégradant le bois ont développé des systèmes enzymatiques intra- et extra-cellulaires adaptés à une dégradation et une minéralisation efficace des différents polymères (cellulose, hémicellulose et lignine) le constituant (Tian et al., 2014). Ces systèmes sont également retrouvés au sein des *consortia* microbiens impliqués dans les MDB. En nous appuyant sur les approches développées depuis des années sur la dégradation du bois par le partenaire IAM, nous proposons d'étudier finement les systèmes de dégradation et de détoxification des champignons impliqués dans les MDB. Cette étude sera également abordée grâce à l'imagerie métabolique haute résolution de petites molécules mise en œuvre par le partenaire IBMP. Une meilleure compréhension de ces systèmes devrait nous permettre d'identifier de nouvelles cibles moléculaires et de développer de nouvelles approches préventives et/ou curatives. Cette approche a d'ores et déjà permis le dépôt d'une déclaration d'invention et le financement d'un projet de maturation (TERPOLVIGNE, 420K€ par SAYENS et la SATT Nord) impliquant plusieurs partenaires de ce projet, apportant ainsi une partie du co-financement requis.

1.2. Analyse des bases génétiques de la tolérance aux maladies du bois chez la vigne

L'INRA dispose d'une population de vignes constituée de 383 génotypes issus d'un croisement entre le Gewurztraminer et le Riesling (Ri x Gw). Cette population est très bien caractérisée au niveau génomique et génétique, grâce à l'obtention de la séquence des génomes complets des parents Ri et Gw (Illumina 2x150bp) et de nombreuses données transcriptomiques (RNAseq), ainsi que de données de génotypage à haute densité (SSRs, puce Illumina 18k, « Genotyping by sequencing »). L'étude de cette population permet l'analyse génétique de nombreux caractères d'intérêt agronomique et des cartes génétiques ont déjà été utilisées pour analyser le déterminisme génétique du développement de la vigne (Duchêne et al., 2012) ou de la composition aromatique des raisins (Ilc et al., 2017). **Cette population est parfaitement adaptée à l'identification de déterminants génétiques de tolérance aux MDB, car le Gewurztraminer est un cépage très sensible alors que le Riesling montre une plus grande tolérance aux MDB.** Afin d'étudier les caractéristiques génétiques qui différencient ces deux niveaux de tolérance, la population Ri x Gw sera phénotypée finement en utilisant des modèles d'infection développés par les partenaires RIBP et LVBE (Reis et al., 2016). Le phénotypage de la tolérance aux différents champignons associés aux MDB sera effectuée par des analyses phytopathologiques (Reis et al., 2016) et par des analyses métabolomiques ciblées et non ciblées permettant d'évaluer les réactions de défense des différents génotypes de la population Ri x Gw face à l'infection. **La combinaison d'analyses génétiques et d'un phénotypage fin, notamment par analyses métabolomiques permettra d'identifier les traits génétiques les plus discriminants de la tolérance de la vigne aux MDB, pour de futurs programmes de création de cépages tolérants.**

1.3. Biocontrôle des maladies du bois chez la vigne

Les partenaires 2 (RIBP) et 3 (LVBE) disposent de souches de micro-organismes (bactéries, champignons mycorrhiziens) connus pour contribuer à la protection de la vigne contre les maladies. Certains d'entre eux ont déjà fait leur preuve en conditions contrôlées au sein des 2 laboratoires. Une action conjointe pourra donc être menée pour combiner les approches de biocontrôle par des champignons (Bruisson et al., 2016) et par des bactéries (Pinto et al., 2018). Le phénotypage de la résistance aux MDB induite par ces micro-organismes pourra être réalisée par les partenaires 1 et 2 du projet. A moyen terme, l'objectif sera de combiner les 2 approches dans un seul et même protocole.

La symbiose mycorrhizienne à arbuscules fait intervenir des champignons biotrophes obligatoires appartenant au phylum des Glomeromycota (AMF). Récemment, le partenaire 3 mis en évidence au laboratoire une intensification des réponses de défense suite à une infection par des pathogènes dans des plants de vigne greffés mycorrhizés, en comparaison de plants greffés non mycorrhizés, à la fois dans les racines et les feuilles (Bruisson et al., 2016). Il est prévu d'étudier plus particulièrement si l'association de *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris* avec des champignons mycorrhiziens à arbuscules permet d'améliorer encore la tolérance de cette vigne sauvage aux Botryosphaeriaceae. L'étude des réponses de défense induites dans les racines, le bois et les feuilles de *V. vinifera* subsp. *sylvestris* suite à la mycorhization suivie d'une inoculation par les champignons associés aux MDB sera réalisée finement par une approche de transcriptomique et une étude métabolomique pourra également être entreprise en partenariat avec l'INRA (partenaire 1). La mise au point d'une parcelle expérimentale de *V. vinifera* inoculée par les champignons mycorrhiziens *Rhizophagus irregularis* permettra d'étudier l'impact de la mycorhization sur le développement, le métabolisme de la vigne et sa résistance aux maladies en partenariat avec le CIVA.

En parallèle, un travail sera conduit sur les effets de bactéries, récemment identifiées par le partenaire 2 comme agents prometteurs de biocontrôle des MDB, notamment *Aureobasidium pullulans* (Pinto et al., 2018). L'évaluation de l'efficacité des défenses induites sera (i) réalisée à partir du modèle simplifié d'études des MDB mis au point par le partenaire 2 (Reis et al. 2016), (ii) sera caractérisée par une approche transcriptomique (Rt-qPCR) et métabolomique ciblées et basées sur les expériences des partenaires 1 et 2 et (iii) sera, à terme, testé au vignoble en Champagne et/ou en Alsace.

A terme, l'objectif est de combiner les 2 modalités de biocontrôle mis au point par les partenaires 2 et 3, de manière à capitaliser sur les acquis et à mettre en synergie les compétences des partenaires du projet VitEst.

Volet 2 : Maladies foliaires cryptogamiques de la vigne : apports de la résistance induite à la résistance génétique

Le contrôle des maladies foliaires cryptogamiques de la vigne (principalement : le mildiou, causé par l'Oomycète *Plasmopara viticola* et l'oïdium, causé par le champignon ascomycète *Erysiphe necator*) fait de la viticulture l'une des activités agricoles les plus consommatrices de produits phytosanitaires en France. **L'utilisation de cépages résistants permet de réduire notablement l'usage des fongicides et l'INRA a récemment mis à disposition des viticulteurs des cépages à résistances polygéniques qui sont actuellement les plus aboutis sur le marché.** Ces quatre nouvelles variétés de vigne à résistance polygénique au mildiou et à l'oïdium (Artaban, Floreal, Vidoc et Voltis) ont été inscrites le 3 janvier 2018 au Catalogue officiel. Ces variétés issues du programme Inra-ResDur 1 mené par le partenaire SVQV peuvent donc être déployées sur le territoire national sans contrainte de surface. Ces nouvelles variétés représentent une avancée considérable pour l'innovation variétale en viticulture, en proposant un matériel résistant aux principales maladies fongiques foliaires que sont le mildiou et l'oïdium, tout en apportant de très bonnes qualités organoleptiques (Institut Français de la Vigne et du Vin, 2018). **Néanmoins, pour optimiser l'utilisation de ces cépages résistants, nous proposons d'analyser l'impact de stratégies de biocontrôle pour réduire encore le recours aux fongicides et assurer la durabilité des résistances.**

Les cépages résistants actuellement proposées aux viticulteurs disposent de résistances de haut niveau aux principales maladies cryptogamiques foliaires (mildiou et oïdium), ces résistances n'étant toutefois pas toujours totales. L'objectif est de développer une gestion durable des variétés de vigne résistantes, en renforçant le contrôle des populations d'agents pathogènes conféré par des gènes de résistance, à l'aide de méthodes de biocontrôle complémentaires. Tirant parti de l'expertise des partenaires dans l'analyse de la résistance de la vigne au mildiou et à l'oïdium (SVQV) et dans la mise en œuvre de stratégies de biocontrôle (RIBP), nous proposons d'étudier l'impact de la bactérisation et de la mycorhization sur le niveau de résistance des cépages résistants. Le partenaire RIPB sélectionnera différents agents de biocontrôle potentiels parmi les souches disponibles dans ses collections (Verhagen et al., 2011; Theocharis et al., 2012; Gruau et al., 2015) et analysera les effets physiologiques de ces agents sur la vigne, en lien avec des fluctuations climatiques. Le partenaire SVQV analysera l'impact de ces agents de biocontrôle potentiels sur le développement du mildiou et de l'oïdium sur une sélection de variétés de vigne présentant différents niveaux de résistance à ces deux maladies. Ces analyses seront effectuées grâce aux moyens de phénotypage de précision de la résistance au mildiou et de l'oïdium développés par le partenaire SVQV, basés sur des analyses phytopathologiques (Díez-Navajas et al., 2007; Miclot et al.), sur des approches d'imagerie (Peressotti et al., 2011) et sur la quantification de biomarqueurs des pathogènes par spectrométrie de masse (Negrel et al., 2018). **L'objectif du projet à moyen terme est de proposer un système innovant de viticulture pour la zone septentrionale, basé sur l'utilisation de variétés résistantes bénéficiant d'un complément de protection apporté par des stratégies de bio-contrôle, afin de permettre une réduction drastique, voire totale, des fongicides, tout en veillant à la durabilité des résistances.**

Livrables du projet VitEst

Les livrables de ce projet se déclinent à plusieurs niveaux :

- mieux comprendre les bases génétiques et physiologiques de l'immunité de la vigne et développer de nouvelles stratégies de protection par des approches multi-factorielles ;
- construire une plateforme originale et performante de phénotypage sur la protection durable de la vigne contre les maladies, associant résistance génétique et résistance induite. Une telle plateforme n'existe actuellement pas ni en France ni en Europe et sera un élément supplémentaire de rayonnement et d'attractivité pour les équipes constitutives, leurs universités de tutelle et la Région Grand Est ;
- un site internet destiné aux interprofessions et faisant mention des résultats/avancées du projet sera mis en place par les unités portant le projet.

Quel effet structurant pour la recherche dans le Grand Est?

Les cinq partenaires impliqués dans ce projet représentent toutes les équipes académiques travaillant sur la vigne dans la région Grand Est. Des collaborations de longue date existent entre ces unités, comme en témoignent les nombreuses publications impliquant des chercheurs d'au moins deux des unités partenaires (Bertsch et al., 2009; Chong et al., 2009; Larignon et al., 2009; Bergeault et al., 2010; Bertsch et al., 2013; Chong et al., 2014; Ramírez-Suero et al., 2014; Spagnolo et al., 2014; Abou-Mansour et al., 2015; Bénard-Gellon et al., 2015; Ilc et al., 2017; Ilc et al., 2018). Néanmoins,

ces partenaires n'ont jamais eu la possibilité d'être rassemblés tous ensemble au sein d'un même projet. **Le projet VitEst constitue donc une opportunité sans précédent de mettre en synergie des compétences et de mutualiser des moyens pour permettre une rationalisation des efforts consentis depuis des années par les collectivités territoriales en matière de recherche sur la viticulture.** En outre, ces équipes de recherche s'appuient sur des liens forts avec les interprofessions champenoise et alsacienne, liens qui permettront une diffusion optimale des résultats et des innovations auprès des professionnels de la viticulture. **Le projet VitEst possède donc un effet structurant très fort, car s'agit d'établir les bases d'une fédération des activités de recherche sur la santé de la vigne en Région Grand Est.** Ce projet constitue la première étape de construction d'un pôle fort de recherche sur la vigne qui peut rapidement justifier d'une aura nationale et européenne effective, compte tenu de la qualité et de la complémentarité des équipes participantes et de leur niveau de reconnaissance. En particulier, une telle fédération sera un atout fort dans les démarches transfrontalières à développer dans le futur (Belgique, Luxembourg, Allemagne).

Moyens mis en œuvre pour la réalisation du projet :

Moyens humains, matériels, ...

Le projet VitEst pour la santé de la vigne étant au centre des thématiques des différentes unités partenaires, celles-ci mobiliseront des moyens humains et matériels nécessaires pour assurer les meilleures chances de succès. Les infrastructures, en particulier les gros équipements, sont pour la plupart, présents et opérationnels au sein des laboratoires partenaires et sont gérés par des personnels *ad hoc*. Les moyens humains supplémentaires à ceux disponibles dans les équipes du projet et requis pour la réalisation du projet auront une double origine : (i) les moyens déjà demandés par ailleurs (allocations régionales, projets nationaux et internationaux en lien avec VitEst) et (ii) les personnes recrutées dans le cadre du présent projet.

Organisation du partenariat :

Description, adéquation et complémentarité des partenaires, compétence, expertise des partenaires..., positionnement du projet dans la stratégie des partenaires
Qualification, rôle et implication des participants, ...
Modalité de pilotage et de coordination du projet

Partenaire 1 (SVQV UMR1131 INRA-Unistra)

L'ensemble des recherches menées dans l'unité Santé de la Vigne et Qualité du Vin (P1) est focalisé sur la vigne, couvrant des domaines fondamentaux, tels que la compréhension des relations vigne-pathogènes, et appliqués, comme la création de variétés à destination de la viticulture. Le P1 mène en effet depuis 2000 un programme de création variétale pour la résistance au mildiou et à l'oïdium et produit des connaissances et des outils nécessaires pour construire des variétés durablement résistantes (Merdinoglu et al., 2009; Peressotti et al., 2010). Le P1 dispose de ressources biologiques (ressources génétiques de vigne, souches de *P. viticola* et *E. necator*), d'infrastructures adaptées à la culture de la vigne (Projet Phénotis CPER 2015-2020), d'une plate-forme de phénotypage pour l'étude de la résistance aux maladies foliaires (Projet VEGOIA CPER 2007-2013), et d'un réseau expérimental. Le P1 dispose également de laboratoires de génétique moléculaire, de biochimie et d'une plate-forme analytique rassemblant des équipements de chromatographie et de spectrométrie de masse permettant la mise en œuvre d'approches métabolomiques ciblées et non ciblées. Enfin, le P1 comprend une équipe de bioinformatique spécialisée dans la génomique de la vigne (séquençage et assemblage *de novo* de génomes, génomique comparative, transcriptomique RNAseq) disposant d'un serveur de calcul dédié installé dans l'unité. L'objectif principal de l'UMR SVQV étant le développement de stratégies durables pour la santé de la vigne, les recherches développées dans le cadre du projet VitEst occupent une place centrale dans la stratégie de l'unité. Le P1 apportera des ressources biologiques (ressources génétiques de vigne, souches de *P. viticola* et *E. necator*) et son expertise sur le phénotypage des relations vigne-pathogènes par des approches phytopathologique et métabolomiques (spectrométrie de masse à haute résolution).

Compétences/expertises/rôles : Génétique de la vigne, phytopathologie, phénotypage, génomique, métabolomique, ressources biologique (ressources génétiques de vigne, souches de *P. viticola* et *E. necator*)

Partenaire 2 (RIBP EA4707 URCA)

Depuis plus de 25 ans, le partenaire P2 s'attache à caractériser les réponses de défense de la vigne à l'échelle physiologique et à induire durablement son immunité par des technologies de biocontrôle. Le projet actuel de l'équipe est basé sur le développement de 3 axes complémentaires dédiés à l'immunité végétale :

- axe 1 : immunité et perception des éliciteurs
- axe 2 : immunité et micro-organismes bénéfiques
- axe 3 : immunité et changement climatique

La stratégie de l'équipe est d'approfondir la compréhension de l'immunité des plantes et d'utiliser ces connaissances pour développer des solutions alternatives (éliciteurs, micro-organismes) de protection. Sur vigne, le travail porte sur les

interactions tripartites vigne/pathogènes/agents de biocontrôle, en conditions abiotiques standards ou stressantes (température et sécheresse). L'unité dispose d'un porte-feuilles de micro-organismes qu'elle mettra à disposition du projet VitEst, qu'il s'agisse d'agents de biocontrôle ou de pathogènes spécifiques de la vigne (notamment des Botryosphériacées impliquées dans les MDB). L'unité a fait le choix de se focaliser sur les éliciteurs amphiphiles (glycolipides) et sur les micro-organismes capables de les produire. Par ailleurs, le coût énergétique de l'immunité et son lien avec la photosynthèse, élément clé du rendement, sont également caractérisés.

L'équipe est membre de la plupart des réseaux nationaux (Consortium biocontrôle de l'INRA, GT biocontrôle du pôle IAR, réseau RMT Elicitra d'Arvalis, ...) et internationaux (IOBC, réseaux COST, réseaux Marie Curie, ...) portant sur le biocontrôle des maladies de la vigne en conditions de stress abiotiques. Par ailleurs, le laboratoire est rompu au développement de projets collaboratifs régionaux (CPER), nationaux publics (ANRs, FUI, CASDAR...) ou privés et internationaux (Interreg, ERAnet, FACCE, H2020, réseaux COST), en tant que porteur ou en tant que partenaire.

L'ensemble des équipements et des techniques nécessaires à la réalisation de projets dans le domaine de protection de la vigne est présent sur site et managé par des personnes dédiées. Le développement de la plateforme de phénotypage envisagée dans le projet VitEst nécessitera l'extension de la serre existante, principal objet de la demande du partenaire 2.

Compétences/expertises/rôles : physiologie moléculaire de la vigne en conditions stressantes, développement de solutions de biocontrôle, photosynthèse et métabolisme carboné, coordination.

Partenaire 3 (LVBE UHA)

Le Laboratoire LVBE de l'Université de Haute Alsace (P3) mène des recherches sur les réponses de défense de la vigne aux bioagresseurs et a acquis plus particulièrement une expertise dans le domaine de l'étiologie des maladies du bois de la vigne (MDB). Le P1 dispose de ressources biologiques (collection de *V. vinifera* subsp. *sylvestris* issue du Karlsruhe Institute of Technology, KIT), collection de souches de champignons associés aux MBV et a développé un test de phénotypage pour la résistance aux MDB (Guan et al, 2015). Le P3 dispose également de laboratoires de biologie moléculaire, de biochimie et de microbiologie dédiés à l'étude des réponses de défense de la vigne et à l'étude de l'agressivité des champignons associés aux MDB. La compréhension du développement des MDB, des réponses de défense de la vigne et la recherche de stratégies de lutte innovantes et durables constituent le projet phare de cette unité de recherche.

Compétences/expertises/rôles : Phytopathologie de la vigne, réponses moléculaires de la plante, facteurs d'agressivité des champignons, nouvelles stratégies de lutte contre les MDB.

Partenaire 4 (IBMP UPR2357 CNRS-Unistra)

Les recherches en cours au sein de l'équipe « Evolution et Diversité du Métabolisme des Plantes » (P4) sont focalisées sur l'évolution des voies de biosynthèse des biopolymères végétaux de nature phénolique et la caractérisation biochimique de voies du métabolisme participant soit dans les réponses de défense ou bien comme composantes essentielles de la qualité des vins. Ce dernier volet des travaux du P4 fut financé sous la forme de l'ANR InteGrape et est le fruit de synergies fortes combinant les expertises du P4 et du P1. Les compétences de P5 en ingénierie du métabolisme terpénique sont aussi soutenues au travers du projet ANR LabCom TerpFactory. Le P1 dispose de laboratoires de biochimie/biologie moléculaire, d'une plate-forme analytique rassemblant des équipements de spectrométrie de masse haute résolution et, au sein de l'IBMP, de plateformes d'analyse transcriptomique, d'imagerie microscopique et de production de protéines. L'expertise de P4 en métabolomique en particulier du métabolisme phénolique et des hormones complémente idéalement les approches analytiques utilisées par P1 et est un atout important pour l'ensemble des partenaires du projet. Au travers du recrutement récent d'un nouveau professeur de l'Université de Strasbourg, P4 a renforcé son expertise en l'analyse bioinformatique de données métabolomiques. P5 dispose en effet d'un accès direct à la plateforme de métabolomique de l'IBMP financée pour partie par le CPR 2015-2020. Cette plateforme est la seule en France qui est équipée pour l'imagerie métabolique haute résolution de petites molécules, le P1 proposant cette approche pour l'analyse de la distribution spatiale de composés phénoliques de défense produits lors de maladie du bois. Ces analyses spatiales et des analyses ciblées de composés phénoliques solubles seront complémentaires des analyses de compositions du bois à mettre en œuvre par le P6. L'objectif principal du P4 dans VitEst sera de contribuer à une meilleure compréhension du rôle du métabolisme phénolique lors des maladies du bois.

Compétences/expertises/rôles : Biochimie (enzymologie) et biologie moléculaire du métabolisme secondaire, métabolomique (analyse ciblé/non ciblée et imagerie spatiale de petites molécules), ingénierie métabolique

Partenaire 5 (IAM UMR1136 INRA-UL)

Les recherches menées au sein de l'UMR1136 IAM sont focalisées sur les interactions entre arbres et microorganismes avec trois objectifs scientifiques majeurs :

- (i) la compréhension des mécanismes moléculaires, écologiques et environnementaux régissant les interactions entre les arbres et les micro-organismes,
- (ii) la compréhension du rôle fonctionnel des interactions entre arbres et micro-organismes au sein des écosystèmes forestiers,
- (iii) la compréhension des processus régissant l'évolution et l'adaptation des associations arbres / micro-organismes pour permettre une meilleure anticipation des impacts potentiels liés aux changements globaux.

De récentes études de génomique comparative couplées à des approches fonctionnelles suggèrent que les mécanismes microbiens impliqués dans la dégradation du bois au sein des écosystèmes forestiers sont similaires à ceux mis en jeu par les champignons pathogènes impliqués dans les maladies du bois de vigne. Sur cette base et par l'intermédiaire de collaborations avec différents partenaires impliqués dans VitEst, notamment le LVBE, nous avons d'ores et déjà proposé de mimer les moyens de défense mis en place par les arbres dans le cadre spécifique des maladies de bois de vigne (Projet TERPOLVIGNE soutenu par SAYENS). L'objectif principal de IAM dans le cadre du projet VitEst est de contribuer à une meilleure compréhension des mécanismes moléculaires mis en jeu par les champignons lors des maladies de bois de vigne en transférant les outils et connaissances acquises (génomique comparative, physiologie, enzymologie, ...) au sein des écosystèmes forestiers. Ces travaux pourront s'appuyer notamment sur la plateforme ASIA en cours de labellisation par le programme INFRA+ de l'Université Lorraine Université d'Excellence, les membres de la plateforme d'écogénomique.

Compétences/expertises/rôles : Microbiologie, Génomique, transcriptomique, protéomique, enzymologie, analyses des constituants du bois

Complémentarité des équipes

La complémentarité entre les partenaires repose sur leurs compétences pluridisciplinaires en génétique et amélioration des plantes, en génomique, transcriptomique et métabolomique, en phytopathologie et physiopathologie et mais aussi sur la disponibilité et la mise en commun des ressources biologiques (plantes, pathogènes, agents de biocontrôle) et des infrastructures (installations, laboratoires, gros équipements, serres, réseau expérimental). La valeur ajoutée de la collaboration réside (i) dans le partage des compétences, de matériel végétal et de gros équipements qui permettront l'exploration de nouvelles pistes de recherches qui seraient difficiles à mener en dehors de cette collaboration. Par exemple, la combinaison de l'expertise des partenaires RIPB et LVBE sur l'étude des MDB et de l'expertise du partenaire SVQV en génétique permettra d'aborder l'étude des bases génétiques de la tolérance aux MDB chez la vigne, approche extrêmement novatrice susceptible de déboucher sur de nouvelles stratégies de lutte contre les MDB grâce à l'utilisation de vignes plus tolérantes ; (ii) sur l'initiation d'une coordination des activités de R&D sur la santé de la vigne en région Grand Est. Cette démarche s'appuie sur une volonté forte des équipes de se fédérer autour d'un projet commun et fait écho aux annonces faites par les Universités porteuses et par la Région de mettre en synergie les compétences régionales pour une meilleure visibilité nationale et internationale.

Pilotage du projet

Compte tenu de la politique volontariste de la Région Grand Est en matière de « Vignes et Vins » et de la position de l'INRA de voir la recherche dans ce domaine fédérée au sein de cette Région, **le projet VitEst sera co-porté par un chercheur alsacien, P. Hugueneu (P1 SVQV) et un chercheur champenois, C. Clément (P2 RIBP)**. Ainsi, le projet disposera d'un ancrage fort et équilibré (Est-Ouest) sur les deux vignobles majeurs de la Région. Cette démarche vient renforcer des initiatives récentes de rapprochement entre les mondes viticoles champenois et alsaciens, comme en témoignent (i) les accords signés entre les interprofessions (Comité Champagne et CIVA) et (ii) la mise en place de formations communes (Diplôme National d'Œnologie, Master Viticulture en Environnement) entre l'URCA et l'UHA.

Le pilotage du projet sera assuré de manière collégiale et sera facilité par les liens de longue date existant entre les différents partenaires, comme en témoignent les publications et les projets communs dont peuvent se prévaloir les partenaires du projet. Un comité de pilotage (COFIL) sera mis en place (réunion annuelle) regroupant des scientifiques extérieurs au projet et des représentants des institutions (Région, INRA, Université, DRRT) et des interprofessions alsaciennes et champenoises. Les missions de ce COFIL viseront principalement le bon déroulé du projet. Un « kick-off meeting » sera organisé pour lancer officiellement le projet, en présence de ces différentes structures. Des réunions rassemblant les partenaires seront organisées à intervalle régulier (6 mois) et sur les différents sites. Des réunions spécifiques pourront avoir lieu de manière plus rapprochée en fonction des besoins liés aux expérimentations.

Les co-porteurs du projet ont une expertise du management de projets collaboratifs et fédérateurs. P. Hugueneu (P1 SVQV) a l'expérience du pilotage de projets scientifiques à travers la coordination de plusieurs projets ANR (projets Vitaroma 2010-2013 et InteGrape 2014-2017). C. Clément (P2 RIBP) dirige une fédération de recherche du CNRS (FR 3417 Condorcet) sur la bio-économie regroupant 30 laboratoires de 700 chercheurs. Il a porté des projets collaboratifs régionaux sur la vigne (CPER 2000-2006 et 2007-2013, programme Vineal) mais aussi des projets nationaux (CASDAR, ...) et internationaux (SfP Nations Unies, H2020).

Impacts et retombées :

Impact global du projet, potentiel de valorisation

Perspectives du projet en matière de rayonnement, de propriété industrielle, d'enjeu compétitif ...

Le projet VitEst représente une opportunité sans précédent de fédérer l'ensemble des équipes menant leurs recherches sur la vigne dans la région Grand Est autour d'objectifs scientifiques communs et ambitieux, dans le but d'apporter des solutions concrètes pour une viticulture durable. Les retombées se traduiront par une amélioration de la protection du vignoble vis-à-vis de ses principaux bio-agresseurs, en combinant différentes stratégies (variétés résistantes, bio-contrôle) pour atteindre de très hauts niveaux de résistance au vignoble, compatibles avec une utilisation la plus réduite possible d'intrants phytosanitaires. Les résultats obtenus feront l'objet d'une diffusion au travers de publications dans des revues à comité de lecture et grâce à la participation à des congrès nationaux et internationaux, et également par publication dans des revues techniques spécialisées à destination des professionnels de la viticulture. Des rencontres seront organisées avec les professionnels pour présenter les principales avancées du projet, en lien avec les interprofessions.

Plus généralement, les retombées du projet VitEst sont triples. Il s'agit d'une première étape dans la mise en place de la plateforme régionale de santé de la vigne en Grand Est. Par ailleurs, les travaux menés dans ce projet nous permettront une meilleure compréhension de l'immunité de la vigne confrontée à des maladies cryptogamiques superficielles (foliaires) ou plus profondes (maladies du bois). Enfin, les résultats obtenus doivent permettre d'envisager raisonnablement le développement de nouvelles stratégies de lutte contre ces maladies, enjeu d'une viticulture durable compatible avec les principes de l'agro-écologie, dont la portée s'étend bien au-delà de notre région.

Globalement, la Région Grand Est doit apparaître comme un point fort de la viticulture nationale et Européenne. En outre, le projet VitEst doit permettre à nos Universités et à notre Région de s'inscrire résolument dans le développement actuel (national et international) de la bio-économie. Ce projet sera un levier supplémentaire pour que le Grand Est se positionne plus fortement dans le Bio-Pacte signé en août 2018 avec les Régions Hauts de France et Ile de France.

Si un équipement est demandé, merci de préciser les éléments complémentaires suivants :

- Description de l'équipement
- Caractère structurant de l'équipement – localisation de l'équipement
- Qualité du modèle économique associé à l'activité de l'équipement
- Offres de service, organisation

Partenaire 1 (SVQV) : équipement demandé : **Équipement de chromatographie liquide et spectrométrie de masse**

Depuis 2011, l'UMR SVQV dispose d'un équipement chromatographie liquide et spectrométrie de masse (LC-MS), dédié à l'analyse du métabolisme végétal, et plus particulièrement au métabolisme de la vigne. L'acquisition de cet équipement et l'expertise reconnue de l'équipe en métabolomique a permis de renforcer considérablement la notoriété de l'UMR au niveau national et international, grâce à des publications dans des journaux à fort impact (Science, Nature Plants, New Phytologist, Plant Physiology). **Compte tenu de l'évolution constante des technologies de spectrométrie de masse et du niveau d'exigence dans la mise en œuvre des approches de métabolomique, nous souhaitons le remplacement de l'équipement LC-MS actuel vieillissant par un équipement LC-MS de dernière génération.** Notre choix technique s'est porté sur un appareil de chromatographie liquide ultra-performant (UHPLC) couplé à un spectromètre de masse à haute résolution de type Q-TOF ou Q-Orbitrap. Cet équipement LC-MS de dernière génération permettra de tirer pleinement parti de l'expertise des personnels de l'UMR SVQV, au service d'une communauté de recherche exprimant des besoins toujours croissants en métabolomique végétale.

- Description : **Chromatographie liquide couplé à un spectromètre de masse à haute résolution (UHPLC-HR-MS)**

- Caractère structurant de l'équipement – localisation de l'équipement : Localisé au sein de l'UMR SVQV

- Qualité du modèle économique associé à l'activité de l'équipement : Les coûts de fonctionnement de l'équipement sont pris en charge par la facturation d'un montant forfaitaire sur les analyses réalisées, qui couvre à la fois les coûts de fonctionnement et de maintenance.

- Offres de service, organisation : Personnels dédiés : **deux IR chimistes permanents** experts en spectrométrie de masse et métabolomique. L'équipement sera partagé sur le mode collaboratif, pour faire bénéficier l'ensemble de la communauté de recherche sur la vigne de l'expertise de l'UMR SVQV en métabolomique végétale.

- Plan de financement : **Montant global de l'équipement : 400 k€**

- Cofinancement : Demande déposée auprès de la **Commission Nationale des Outils Collectifs de l'Inra (CNOC) : 200 k€** → Expertise en cours.

- **Aide régionale sollicitée : 200 k€**

Partenaire 2 (RIBP) : équipement demandé : **une serre pour le phénotypage lié aux maladies du bois**

La demande du partenaire 2 s'élève à **500 k€**, dont **350 k€** d'équipement, **93 k€** de moyens humains et **57 k€** de fonctionnement. Le laboratoire RIBP dispose de 160 m² de serres régulées pour ces différents projets. La mise en place du projet VitEst, en particulier le phénotypage de cépages pour la résistance (génétique ou induite) aux maladies du bois va entraîner des besoins en surface de serre incompatibles avec les équipements existants. Aussi, la demande en équipement du partenaire 2 (350 k€) repose sur co-financement (URCA) d'une installation connectée à l'existant pour un

montant global de 1,4 millions d'€. Les partenaires de ce co-financement ont donné un accord verbal pour soutenir la mise en place de cet équipement. Il doit être précisé que la gestion de cet équipement sera assurée par un Ingénieur d'Etudes en « Production et expérimentation végétale », déjà en place et rompu à la gestion d'expérimentations sur vigne ainsi qu'à la maintenance de ce type de matériel.

Partenaire 3 (LVBE) : équipement demandé : Plateforme d'Innovation de la Viticulture du XXI^e siècle (PIV21) à l'Université de Haute-Alsace : La recherche de nouveaux moyens de lutte contre les maladies du bois de la vigne est l'objectif central, à court et moyen terme, afin d'apporter des solutions respectueuses de l'environnement à toute la profession viticole, qu'elles soient curatives et/ou préventives pour contribuer à endiguer la crise du dépérissement du vignoble. L'espace d'analyse et de recherche PIV21 proposera une plateforme expérimentale aux communautés scientifiques des territoires ainsi qu'à la profession. Elle sera aussi importante pour valoriser les formations d'enseignements supérieurs dans ce domaine. **Cette plateforme analytique** nécessitera les technologies d'imagerie, de microscopie performante, mais aussi d'analyses moléculaires des mécanismes listés ci-dessous. **Le budget de cet investissement s'élève à 154 k€ dont la moitié sera pris en charge par l'Université de Haute Alsace.**

- Système de chromatographie liquide UPLC, Système d'imagerie : microscope inversé,
- Analyse de l'activité photosynthétique (transportable en champs), Système de pasteurisateur de sol.

Budget du projet

Coût total prévisionnel du projet :	2.000.000	€
Régime TVA : <input checked="" type="checkbox"/> HT <input type="checkbox"/> TTC		
Montant total de l'aide régionale sollicitée :	1.000.000	€
dont Investissement :	487.000	€
dont Fonctionnement		
- Salaires :	364.000	€
- Autre :	149.000	€

Co-financements acquis	
Financeurs	Montant (€)
Ressources publiques	
S/Total ressources publiques	
Ressources privées	
S/Total ressources privées	
Autofinancement	
Autofinancement IBMP	20.000
Autofinancement INRA	40.000
Autofinancement UHA	129.000
TOTAL Ressources	189.000

Une grande partie du co-financement fait l'objet de demandes actuellement en cours d'expertise, en particulier en ce qui concerne les investissements (équipements).

Références bibliographiques

- Abou-Mansour E, Débieux J-L, Ramirez-Suero M, Bénard-Gellon M, Magnin-Robert M, Spagnolo A, Chong J, Farine S, Bertsch C, L'Haridon F, et al (2015) Phytotoxic metabolites from *Neofusicoccum parvum*, a pathogen of *Botryosphaeria dieback* of grapevine. *Phytochem* 115: 207–215
- Bergeault K, Bertsch C, Merdinoglu D, Walter B (2010) Low level of polymorphism in two putative NPR1 homologs in the Vitaceae family. *Biol Direct* 5: 9
- Bertsch C, Larignon P, Farine S, Clément C, Fontaine F (2009) The spread of grapevine trunk disease. *Science* 324: 721
- Bertsch C, Magnin-Robert M, Magnin-Robert M, Larignon P, Chong J, Abou-Mansour E, Spagnolo A, Clément C, Fontaine F (2013) Grapevine trunk diseases: complex and still poorly understood. *Plant Pathol* 62: 243–265
- Bénard-Gellon M, Farine S, Goddard ML, Schmitt M, Stempien E, Pensec F, Laloue H, Mazet-Kieffer F, Fontaine F, Larignon P, et al (2015) Toxicity of extracellular proteins from *Diplodia seriata* and *Neofusicoccum parvum* involved in grapevine *Botryosphaeria dieback*. *Protoplasma* 252: 679–687
- Bruisson S, Maillot P, Schellenbaum P, Walter B, Gindro K, Deglène-Benbrahim L (2016) Arbuscular mycorrhizal symbiosis stimulates key genes of the phenylpropanoid biosynthesis and stilbenoid production in grapevine leaves in response to downy mildew and grey mould infection. *Phytochem* 131: 92–99
- Chong J, Piron M-C, Meyer S, Merdinoglu D, Bertsch C, Mestre P (2014) The SWEET family of sugar transporters in grapevine: VvSWEET4 is involved in the interaction with *Botrytis cinerea*. *J Exp Bot* 65: 6589–6601
- Chong J, Poutaraud A, Huguency P (2009) Metabolism and roles of stilbenes in plants. *Plant Sci* 177: 143–155
- Diez-Navajas A, Greif C, Poutaraud A, Merdinoglu D (2007) Two simplified fluorescent staining techniques to observe infection structures of the oomycete *Plasmopara viticola* in grapevine leaf tissues. *Micron* 38: 680–683
- Duchêne E, Butterlin G, Dumas V, Merdinoglu D (2012) Towards the adaptation of grapevine varieties to climate change: QTLs and candidate genes for developmental stages. *Theor Appl Genet* 124: 623–635
- Fontaine F, Pinto C, Vallet J, Clément C, Gomes AC, Spagnolo A (2015) The effects of grapevine trunk diseases (GTDs) on vine physiology. *Eur J Plant Pathol* 144: 707–721
- Gruau C, Trolat-Aziz P, Villaume S, Rabenoelina F, Clément C, Baillieu F, Aziz A (2015) *Pseudomonas fluorescens* PTA-CT2 Triggers Local and Systemic Immune Response Against *Botrytis cinerea* in Grapevine. *Mol Plant Microbe Interact* 28: 1117–1129
- Guan X, Essakhi S, Laloue H, Nick P, Bertsch C, Chong J (2015) Mining new resources for grape resistance against *Botryosphaeriaceae*: a focus on *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris*. *Plant Pathol* 65: 273–284
- Ilc T, Arista G, Tavares R, Navrot N, Duchêne E, Velt A, Choulet F, Paux E, Fischer M, Nelson DR, et al (2018) Annotation, classification, genomic organization and expression of the *Vitis vinifera* CYPome. *PLoS ONE* 13: e0199902
- Ilc T, Halter D, Miesch L, Lauvoisard F, Kriegshauser L, Ilg A, Baltenweck R, Huguency P, Werck-Reichhart D, Duchêne E, et al (2017) A grapevine cytochrome P450 generates the precursor of wine lactone, a key odorant in wine. *New Phytol* 213: 264–274
- Institut Français de la Vigne et du Vin (2018). <http://www.vignevin.com/recherche/creation-varietale/varietes-resistantes.html>
- Larignon P, Fontaine F, Farine S, Clément C, Bertsch C (2009) Esca and Black Dead Arm: two major actors of grapevine trunk diseases. *C R Biol* 332: 765–783
- Merdinoglu D, Wiedemann-Merdinoglu S, Mestre P, Prado E, Schneider C (2009) Apport de l'innovation variétale dans la réduction des intrants phytosanitaires au vignoble : exemple de la résistance au mildiou et à l'oïdium. *Progrès Agricole et Viticole* 126: 244–247
- Miclot AS, Wiedemann-Merdinoglu S, Duchêne E, Merdinoglu D, Mestre P A standardised method for the quantitative analysis of resistance to grapevine powdery mildew. *Eur J Plant Pathol* 133: 483–495
- Negrel L, Halter D, Wiedemann-Merdinoglu S, Rustenholz C, Merdinoglu D, Huguency P, Baltenweck R (2018) Identification of Lipid Markers of *Plasmopara viticola* Infection in Grapevine Using a Non-targeted Metabolomic Approach. *Front Plant Sci* 9: 9599–11
- Peressotti E, Duchêne E, Merdinoglu D, Mestre P (2011) A semi-automatic non-destructive method to quantify grapevine downy mildew sporulation. *J Microbiol Meth* 84: 265–271
- Peressotti E, Wiedemann-Merdinoglu S, Delmotte F, Bellin D, Di Gaspero G, Testolin R, Merdinoglu D, Mestre P (2010) Breakdown of resistance to grapevine downy mildew upon limited deployment of a resistant variety. *BMC Plant Biol* 10: 147
- Pinto C, Custódio V, Nunes M, Songy A, Rabenoelina F, Courteaux B, Clément C, Gomes AC, Fontaine F (2018) Understand the Potential Role of *Aureobasidium pullulans*, a Resident Microorganism From Grapevine, to Prevent the Infection Caused by *Diplodia seriata*. *Front Microbiol* 9: 3047
- Ramirez-Suero M, Bénard-Gellon M, Chong J, Laloue H, Stempien E, Abou-Mansour E, Fontaine F, Larignon P, Mazet-Kieffer F, Farine S, et al (2014) Extracellular compounds produced by fungi associated with *Botryosphaeria dieback* induce differential defence gene expression patterns and necrosis in *Vitis vinifera* cv. Chardonnay cells. *Protoplasma* 251: 1417–1426
- Reis P, Magnin-Robert M, Nascimento T, Spagnolo A, Abou-Mansour E, Fioretti C, Clément C, Rego C, Fontaine F (2016) Reproducing *Botryosphaeria dieback* foliar symptoms in a simple model system. *Plant Dis* 100: 1071–1079
- Spagnolo A, Magnin-Robert M, Alayi TD, Cilindre C, Schaeffer-Reiss C, van Dorsselaer A, Clément C, Larignon P, Ramirez-Suero M, Chong J, et al (2014) Differential responses of three grapevine cultivars to *Botryosphaeria dieback*. *Phytopathology* 104: 1021–1035
- Spagnolo A, Mondello V, Larignon P, Villaume S, Rabenoelina F, Clément C, Fontaine F (2017) Defense Responses in Grapevine (cv. Mourvèdre) after Inoculation with the *Botryosphaeria Dieback* Pathogens *Neofusicoccum parvum* and *Diplodia seriata* and Their Relationship with Flowering. *Int J Mol Sci* 18: 393–12
- Theocharis A, Bordiec S, Fernandez O, Paquis S, Dhondt-Cordelier S, Baillieu F, Clément C, Barka EA (2012) *Burkholderia phytofirmans* PsJN primes *Vitis vinifera* L. and confers a better tolerance to low nonfreezing temperatures. *Mol Plant Microbe Interact* 25: 241–249

Tian J-H, Pourcher A-M, Bouchez T, Gelhaye E, Peu P (2014) Occurrence of lignin degradation genotypes and phenotypes among prokaryotes. *Appl Microbiol Biotechnol* 98: 9527–9544

Verhagen B, Trotel-Aziz P, Jeandet P, Baillieul F, Aziz A (2011) Improved resistance against *Botrytis cinerea* by grapevine-associated bacteria that induce a prime oxidative burst and phytoalexin production. *Phytopathology* 101: 768–777