

Synthèse des résultats 2025 du projet VITAE

François Delmotte, Hervé Hannin, Corinne Vacher, Simon Labarthe, Pere Mestre, Adrien Rusch, Anne Mérot, Laure Latruffe, Eric Giraud-Héraud, Laurent Deliere, Philippe Darriet et Marielle Adrian

WP1 – Gestion du microbiote

Corinne Vacher et Simon Labarthe

L'année 2025 a été marquée par des avancées significatives, notamment la publication de deux articles majeurs issus de la thèse de Paola Fournier (2021–2024). Le premier article identifie des taxons microbiens bioindicateurs d'une faible sensibilité au mildiou à l'échelle de la parcelle de vigne (Fournier *et al.* 2025. *Env. Microbiome*). Le second propose un nouveau scénario d'interactions entre *Plasmopara viticola* et le microbiote foliaire de la vigne, suggérant une sélection locale de micro-organismes dans les tissus infectés susceptible de contribuer au biocontrôle (Fournier *et al.* 2025. *FEMS Microb. Ecol.*). Ce scénario devra toutefois être consolidé par des approches expérimentales impliquant la manipulation du microbiote foliaire. Dans cette optique, une collection microbienne de 1008 isolats (champignons filamenteux, levures et bactéries) a été constituée. Sa caractérisation fait l'objet d'un article soumis en 2025 et récemment accepté (Jaswa *et al.* 2026. *OENO One*). Ce travail constitue la première publication de la thèse d'Aarti Jaswa (2023–2026). Cette collection microbienne a permis de tester l'effet de plusieurs communautés microbiennes synthétiques (SynComs) sur le mildiou, dont certaines ont eu un effet de biocontrôle significatif. En collaboration avec les partenaires du projet PePR Agroécologie Numérique MISTIC (coordonné par David Sherman, INRIA), des avancées ont été obtenues en 2025 concernant la compréhension des modes d'action de ces communautés microbiennes, à travers l'analyse des métabolites produits et des effets sur les défenses de la plante. Un post-doctorant (Felix Roy) a été recruté pour modéliser les interactions entre les micro-organismes. Plusieurs taxons microbiens présentant un potentiel de biocontrôle, seuls ou en combinaison, ont été identifiés, ouvrant des perspectives pour le développement de stratégies de biocontrôle microbien du mildiou (Jaswa *et al.*, en préparation).

WP2 – Développement du biocontrôle

Marielle Adrian

Nous avons mis en évidence l'efficacité de deux souches bactériennes à protéger la vigne contre plusieurs maladies en conditions semi-contrôlées. Leur génome a été séquencé afin de vérifier leur identité taxonomique puis les métabolites spécialisés actifs qu'elles sont susceptibles de synthétiser ont été prédits (antiSMASH). Une analyse LC-MS complémentaire a révélé certaines différences dans les isoformes de différentes familles de lipopeptides. Des analyses métabolomiques par UHPLC-QToF-MS ont été réalisées afin *i-* d'établir les signatures métaboliques des surnageants et de les comparer et *ii-* d'étudier et comparer l'effet des surnageants sur le métabolisme de cellules de vigne en suspension. Le traitement des données est en cours de finalisation.

Nous avons poursuivi l'étude du mode d'action de la stratégie de biocontrôle combinant désinhibiteur des défenses de la plante (DDP) + SDP et de son efficacité au vignoble. Une analyse transcriptomique a permis de montrer des réponses très précoces de la vigne au traitement DDP mais nous n'avons pu

identifier de marqueurs spécifiques. Au vignoble, les essais réalisés ont montré que la combinaison DDP - cuivre ½ dose - Belvine ½ dose (SDP) permet d'obtenir une protection équivalente ou supérieure à celle obtenue avec une pleine dose de cuivre, sans modifier les qualités organoleptiques des baies ni des paramètres physiologiques des ceps (nutrition azotée, teneur en chlorophylle). Cette stratégie permet donc d'atteindre les objectifs de la stratégie Ecophyto 2030 tout en n'augmentant pas significativement le coût de la protection. Ces résultats nous permettent également d'atteindre un TRL 7-8 sur cette stratégie originale.

Les travaux visant à développer une stratégie de biocontrôle ciblée sur la reproduction sexuée de *P. viticola* ont été initiés pour identifier les mécanismes moléculaires responsables de l'induction de cette phase. Ainsi, la synthèse chimique de l'hormone $\alpha 1$ (hormone de *Phytophthora infestans*, un oomycète proche du mildiou de la vigne) a été initiée afin de tester son rôle dans la reproduction de *P. viticola*. Parallèlement, l'extraction et l'isolement de l'hormone spécifique du mildiou de la vigne seront entrepris à partir de croisements réalisés entre souches de types d'accouplement différents sur feuilles de vigne.

WP3 – Résistance génétique de la vigne

Pere Mestre et François Delmotte

Des populations de ségrégation issues de croisements entre *Vitis vinifera* et les espèces *Vitis rotundifolia* et *Vitis embergerii* ont été utilisées pour l'analyse des bases génétiques de la résistance au black rot présente dans ces dernières. Le phénotypage en conditions contrôlées et semi-contrôlées, ainsi que le génotypage par GBS ont permis de réaliser une cartographie de QTL pour ces deux populations et d'identifier deux QTLs pour la résistance au black rot.

Les travaux de recherche des cibles moléculaires des effecteurs de *P. viticola* et du phytoplasme responsable de la flavescence dorée par une stratégie de double-hybride a conduit à l'identification de deux cibles putatives, une pour un effecteur de *P. viticola* et l'autre pour un effecteur du phytoplasme. Si les cibles sont intéressantes, aucune des deux interactions n'a pas pu être validée par une méthode alternative.

Suite à l'identification chez *P. viticola* des locus responsables de la virulence envers *Rpv10* et *Rpv12*, des marqueurs moléculaires ont été définis permettant d'identifier des souches virulentes pour ces gènes sans devoir passer par des expériences de phénotypage. Ces marqueurs permettront de faire de la veille moléculaire et suivre l'évolution de la virulence dans les populations de mildiou confrontées à des variétés portant ces résistances. Par ailleurs, le suivi du réseau OSCAR a permis de mettre en évidence des isolats de mildiou contournant des variétés de vigne portant deux gènes de résistance, dont le phénotype a été validé par des expériences de laboratoire.

Les séquences codantes des trois effecteurs candidats du locus *AvrRpv12* de *P. viticola* ont été synthétisées, transférées dans des plasmides binaires et utilisés en expériences d'expression transitoire par agroinfiltration sur des feuilles de plantes de vigne portant *Rpv12*. Un de ces trois candidats donne une réponse de mort cellulaire *Rpv12*-spécifique, faible mais reproductible, indiquant qu'il est reconnu par *Rpv12* et qui correspondrait donc au gène *AvrRpv12*.

WP4 – Mobiliser la biodiversité et les services écosystémiques

Adrien Rusch

Tout d’abord, nous avons identifié les espèces auxiliaires clés impliquées dans la régulation des principaux insectes ravageurs du vignoble sur la base d’un gros travail de metabarcoding des contenus stomacaux ou des fèces des prédateurs généralistes, vertébrés et invertébrés (Muneret *et al.*, in prep. ; Ortiz-Martinez *et al.*, in prep.). Ces travaux se poursuivent à travers une approche de modélisation des probabilités d’interactions pour estimer les flux d’énergie dans les réseaux d’interactions dans différents contextes environnementaux. Ces travaux, plus fondamentaux, permettront *in fine* de prédire la topologie des réseaux sous contraintes environnementales. Par ailleurs, nous avons finalisé une analyse des effets des pratiques viticoles (des pesticides en particulier) et du contexte paysager sur la régulation naturelle des bioagresseurs et la biodiversité multitrophique (Stemmelen *et al.*, subm. ; Etienne *et al.*, 2026). Nos travaux montrent d’abord que les paysages avec des quantités importantes d’habitats semi-naturels (forêts, prairies) favorisent la régulation naturelle des ravageurs et la biodiversité multitrophique, tout en limitant l’occurrence de deux bioagresseurs majeurs (mildiou et tordeuses de la grappe) (Stemmelen *et al.*, 2025, subm. ; Etienne *et al.*, 2026). Nos travaux montrent également que l’usage intensif des pesticides et la diversité des matières actives réduisent fortement l’abondance et la diversité multitrophique (incluant la diversité des plantes, des arthropodes et des oiseaux). Enfin, nous avons finalisé un travail d’analyse des conditions environnementales qui favorisent les synergies entre préservation de la biodiversité multitrophique ordinaire et production de raisin sur une large base de données. Ces analyses montrent que deux facteurs essentiels conditionnent les compromis et les synergies entre ces deux dimensions : l’usage local de produits phytosanitaires et la quantité de prairies dans le paysage, habitat réservoir clé pour la dynamique de la biodiversité dans les paysages agricoles (Rusch *et al.*, in prep.). La probabilité d’atteindre un espace synergique entre la préservation de la biodiversité ordinaire et la production de raisin n’est possible qu’en combinant usage de produits phytosanitaire relativement intensif à l’échelle de la parcelle et quantité de prairies élevées dans un le paysage environnant. Ces résultats questionnent les stratégies d’usages des terres optimales qui permettrait de maximiser une grande diversité de services à l’échelle des territoires.

WP5 – Reconception des systèmes de culture

Anne Mérot

Le WP5 se structure en 4 actions dont la dynamique temporelle est assez différente : WP5-1) traque aux innovations pour caractériser des stratégies de sortie des pesticides dans des domaines commerciaux par enquêtes, WP7-3) Co-conception d’exploitations viticoles agroécologiques, WP5-2) Caractérisation expérimentale dans des parcelles commerciales de l’effet de stratégies permettant d’atteindre a minima <60% pesticides par rapport à la région et WP5-3) Comprendre l’échec des transitions agroécologiques et les moyens d’y remédier à partir de l’exemple de l’agriculture biologique. L’action WP5-1 est en phase de valorisation, les résultats ont fait l’objet d’une rédaction d’article actuellement soumis. L’action WP7-3 est liée

à une thèse qui s'est terminée en décembre 2025 (thèse Elsa Robelot). Un premier article a été accepté sur le premier chapitre de la thèse, les deux autres chapitres sont en cours de valorisation. L'action WP5-2 a débuté en 2023. 2025 était la 3^{ème} année de collecte de données. Le jeu de données n'étant pas complet, les analyses statistiques n'ont pas encore débuté. Enfin l'action WP5-3 a vu une première phase en 2024 permettant de faire une synthèse de la littérature (post-doc) et d'identifier les sources de données potentielles. La deuxième phase (collecte et analyse des données d'entretiens) aura lieu en 2026.

WP6 – Valorisations économiques et incitations

Laure Latruffe, Eric Giraud-Héraud, Laurent Delière et Philippe Darriet

Les travaux menés en 2025 ont continué à contribuer à l'analyse des leviers économiques et comportementaux susceptibles d'accompagner la transition vers une viticulture à faible usage de pesticides, en cohérence avec les objectifs du projet VITAE. Ils portent notamment sur le rôle des incitations économiques, de la gestion des risques et des préférences des acteurs dans l'adoption de pratiques agricoles plus durables.

Leviers économiques : assurance

Suite à l'article publié en 2024 dans la revue *European Review of Agricultural Economics* (Lefebvre M., Raineau Y., Aubert C., et al. "Green Insurance for Pesticide Reduction: Acceptability and Impact for French Viticulture), un autre article a été écrit dans cette même revue et accepté en 2025. Ces deux articles analysent le potentiel d'un dispositif d'« assurance verte » visant à sécuriser les viticulteurs qui expérimentent des outils de réduction des intrants. Les résultats montrent qu'un tel mécanisme pourrait faciliter l'adoption d'innovations agronomiques et conduire à des réductions significatives de l'usage de fongicides. Dans une expérimentation conduite pendant quatre ans avec des coopératives viticoles et un assureur, l'utilisation d'un outil d'aide à la décision combiné à une assurance spécifique a permis de réduire l'usage de fongicides de 30 à 50 % sur les parcelles testées. Un tel mécanisme couplé entre provision d'un outil d'aide à la décision et assurance des pertes éventuelles liées au défaut de l'outil pourrait être plébiscité par 45 à 60% des viticulteurs français, notamment ceux en transition via l'agriculture biologique, selon les résultats d'une expérience de choix, avec de forts impacts sur la réduction des fongicides.

Ces résultats ont fait l'objet d'actions de diffusion vers le grand public et les acteurs socio-économiques. Un article publié dans *The Conversation* a contribué à la vulgarisation des travaux auprès d'un large public. Par ailleurs, un communiqué de presse d'INRAE consacré au dispositif d'« assurance verte » a donné lieu à plusieurs reprises dans la presse spécialisée et généraliste, contribuant à accroître la visibilité des résultats du projet et à nourrir le débat public sur les instruments économiques susceptibles d'accompagner la transition agroécologique.

Leviers économiques : incitations

Nous avons réalisé une étude fournissant une image du secteur viticole français sur les deux dernières décennies, sur la base des données du Réseau d'information comptable agricole (RICA). Nous avons analysé l'évolution des exploitations viticoles en France métropolitaine en termes de structure et de performance sur la période 2002-2021. Les chiffres montrent que les

exploitations viticoles se sont agrandies et ont subi une baisse de rendement et de performance économique ramenée à l'hectare, mais une augmentation de la performance économique par unité de travail annuel. Les exploitations viticoles ont fortement diminué leurs charges dédiées à la protection des cultures mais ont augmenté celles liées aux travaux par tiers. Les subventions d'exploitation ont très fortement augmenté sur la période, ce qui peut s'expliquer par le passage au découplage des aides de la Politique Agricole Commune pendant la période. Cet article a été publié dans la revue *Economie Rurale*.

En 2023-2024, en collaboration avec le WP5, nous avons réalisé une enquête (expérience de choix) pour identifier des scénarios possibles d'intégration et de gestion des variétés résistantes en Champagne, et comprendre les préférences des viticulteurs entre ces différents scénarios, en termes d'action individuelle ou collective pour la plantation de variétés résistantes, remplaçant d'éventuelles subventions. Ce travail a fait l'objet d'un article scientifique, actuellement soumis à une revue académique. En 2025 nous avons également rédigé une note résumant le travail et les résultats, à destination principalement des viticulteurs enquêtés. La note est disponible publiquement sur HAL.

Enfin, un travail d'économétrie –mobilisant un stage de master sur 6 mois, sur les bases de données Pratiques culturelles en viticulture du Ministère de l'agriculture, est également en cours de finalisation pour publication. Ce travail montre la prépondérance des facteurs structurels dans le fort recours aux pesticides (localisation, type de produit...) et permet d'isoler l'effet des mesures subventionnées comme les mesures agroenvironnementales, les assurances climatiques ou les certifications, sur les pratiques de producteurs.

Préférences des acteurs : agriculteurs, conseillers, chercheurs

En collaboration avec le projet CAPZEROPHYTO, également financé dans le cadre du Programme Prioritaire « Cultiver et Protéger Autrement », nous avons réalisé un travail pour mieux comprendre les stratégies de protection de cultures des agriculteurs. Nous avons mené une enquête auprès d'agriculteurs (dans les secteurs de la viticulture, de l'arboriculture et du maraîchage), de chercheurs et de conseillers agricoles. Les résultats identifient quatre profils d'agriculteurs selon leurs critères de décision pour choisir une stratégie de protection des cultures, appelant à des politiques et solutions techniques ne peuvent non-uniformes. De plus, l'étude révèle un écart significatif de perception entre les agriculteurs et les acteurs de l'innovation : alors que les chercheurs surestiment souvent l'importance des critères environnementaux et sanitaires, les conseillers agricoles mettent davantage l'accent sur la compétitivité économique. Mieux comprendre ces priorités, reconnaître leur diversité et renforcer le dialogue entre agriculteurs, chercheurs et conseillers sont des leviers essentiels pour réussir la transition vers des systèmes agricoles plus durables. Ce travail fait l'objet d'un article scientifique, accepté pour publication fin 2025 dans le *Journal of Agricultural Economics*. Une note résumant le travail à destination des enquêtés est en cours de rédaction.

Préférences des acteurs : consommateurs

Marie Amélie Alayrac poursuit sa thèse co-dirigée par Philippe Darriet (UMR Œno) et Yann Raineau (UMR BSE et UR ETTIS). En 2025, les travaux de recherche ont continué sur les 2 axes du volet œnologique de la thèse et aussi sur le volet d'économie expérimentale. Sur le volet œnologique, les travaux en lien avec la recherche de marqueurs analytiques facilement

mesurables de l'altération des vendanges et des vins par les principales maladies cryptogamiques se sont poursuivis dans le cadre de l'analyse de jus de raisins et de raisins associés à l'incorporation de vendange altérée par le black rot et par le rot brun dû à *Plasmopara viticola*. L'analyse de marqueurs polyols dans les vins dont issus de vendanges supplémentées par des baies atteintes de black rot ou de rot brun a été conduite par chromatographie ionique. Les résultats ont permis de noter un niveau d'abondance accru dans en arabitol et mannitol dans les vins de la variété supplémentés en baies atteintes de black rot (variété Artaban résistante à *Plasmopara viticola*) en regard des vins issus de vendanges saines. Le niveau d'accroissement des teneurs de ces 2 marqueurs a été noté pendant 3 années (2023-2024-2025). À propos des vendanges de Merlot touchées par le mildiou (rot brun), l'incorporation de raisins de merlot touchés par le rot brun avant vinification a conduit à l'observation d'une augmentation de la teneur en d'autres polyols dans les vins de Merlot mais les résultats ne sont pas significativement répétables sur 3 années. Ainsi, selon les années l'un ou l'autre polyol voit ses teneurs accrues. Par ailleurs, l'analyse de marqueurs volatils dont le salicylate de méthyle et des tests sensoriels ont permis de confirmer l'altération de la composition et qualité des vins, au cours des millésimes 2023-2025 liés à l'incorporation de baies touchées par le rot brun, et souvent mais non systématiquement avec l'incorporation de baies atteintes de black rot. Le deuxième axe de travail a concerné l'analyse de l'état de maturité puis l'évaluation sensorielle et analytique fine (plus d'une vingtaine de composés volatils d'impact analysés), de vins élaborés à partir d'une collection de variétés possédant 2 gènes de résistance au mildiou et à l'oïdium. La qualification sensorielle des vins par des panels experts ainsi que l'analyse quantitative de marqueurs de la maturité ou surmaturité des raisins s'est poursuivie en 2024 et 2025. Ces travaux ont permis de renseigner la diversité sensorielle et analytique d'une descendance de vins de variétés résistantes ayant pour parents *Vitis vinifera* les variétés Petit Verdot et Cabernet franc respectivement et d'observer la bonne régularité de l'évaluation sensorielle de vins sur plusieurs années (2022-2024) issus de certains génotypes associés à des raisins blancs ou raisins noirs. Parmi les vins rouges sélectionnés du millésime 2024, les plus représentatifs d'entre eux ont été utilisés pour un protocole d'économie expérimentale avec des consommateurs réguliers de vins de Bordeaux, recrutés à cette fin. Leur consentement à payer pour ce vin assemblé et un vin typique équivalent de la région de Bordeaux, dégustés à l'aveugle, ne sont pas significativement différents.

WP7 – Étude prospective sur la sortie des pesticides

Hervé Hannin

Le processus d'écriture des scénarios de prospective a été achevé en mai 2025.

Une journée de partage interdisciplinaire a été organisée et annoncée pour mars 2026 de façon à rassembler et faire travailler en interdisciplinarité l'ensemble de la communauté scientifique de VITAE.

Dans le même temps les grandes interprofessions déjà en lien avec VITAE (qui avaient notamment reçu les assemblées annuelles du projet au long de son évolution), ont été invitées à cette même journée et incitées à organiser en 2026 dans leur bassin viticole une journée

similaire de science participative réunissant les diverses familles professionnelles impliquées. Il s'agit notamment des interprofessions de Bourgogne, Cognac, Bordeaux, et Champagne.