

Synthèse des résultats 2024 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

En 2024, l'activité principale du WP1 a porté sur les expérimentations de confrontation de l'agent pathogène cible, *Plasmopara viticola*, avec une communauté synthétique (SynCom) de micro-organismes sélectionnés pour leur action de biocontrôle connue ou identifiés lors d'une précédente campagne de métabarcoding comme différemment représentés dans les parcelles peu touchées par le mildiou (Fournier *et al.*, en révision pour *Environmental Microbiome*). Ces expérimentations, menées dans le cadre de la thèse d'Aarti Jaswa, ont été réalisées en conditions contrôlées. Après une expérimentation pilote en début d'année, plusieurs SynComs de diversité croissante (de 2 à 42 micro-organismes) ont été confrontées au mildiou, et comparées à des contrôles négatifs (sans SynCom) ou à un produit de biocontrôle. Des expérimentations de type « drop-out » ont également été conduites afin d'évaluer l'impact individuel des micro-organismes sur le développement du mildiou. Des échantillons ont été collectés à différents moments afin de constituer des séries temporelles de comptages microbiens, qui seront analysées en 2025 par un post-doctorant en mathématiques recruté à cet effet. Des données métabolomiques ont été produites dans le cadre du projet Mistic (PEPR Agroécologie Numérique) et seront complétées en 2025 par des données métatranscriptomiques. L'effet de la SynCom a également été évalué au champ sur les parcelles expérimentales de la plateforme BC2Grape.

Les comptages microbiens seront réalisés à l'aide d'une puce microfluidique spécifique des 42 micro-organismes choisis pour la SynCom, incluant également les principaux agents pathogènes de la vigne. La spécificité et la sensibilité de cette puce ont été validées pour 39 micro-organismes. Pour les neuf restants, les amorces se sont révélées insuffisamment précises, probablement en raison d'une trop grande distance génétique entre l'isolat utilisé pour la SynCom et le génome de référence employé pour la conception des amorces. Les génomes correspondants ont donc été séquencés et assemblés dans le cadre du projet Mistic. La conception des nouvelles amorces est en cours.

Le WP1 a également bénéficié d'un fort effet de levier en 2024, avec l'obtention du projet Micromod (Région Nouvelle-Aquitaine, coordonné par Simon Labarthe), cofinancant deux post-doctorats associés au WP1 de VITAE, ainsi que du projet MicroSentry (INRAE, départements Mathnum et SPE), destiné à tester la puce microfluidique pour la détection environnementale de micro-organismes sentinelles du risque épidémique de mildiou. Enfin, le lancement du projet GETUP (Parsada, coordonné par Corinne Vacher), sur la gestion du microbiote pour lutter contre le mildiou de la vigne, prolonge directement les travaux initiés dans VITAE.

WP2 – Développement du biocontrôle

Marielle Adrian

Pour la partie biocontrôle, nous avions démontré l'efficacité de surnageants des milieux de culture de 2 souches de *Bacillus* (*B. velezensis* Buz14 et *B. ginsengihum* S38) à induire, en conditions semi-contrôlées, une résistance de la vigne au black-rot et au mildiou et décrit leur double mode d'action (antibiose et stimulation des défenses de la plante). Nous avons réalisé le séquençage du génome de ces 2 souches afin de vérifier leur identité taxonomique et de prédire (« genome mining ») leurs molécules actives d'antibiose, dont les lipopeptides (collaboration initiée avec P. Jacques, Gembloux Agro-Bio Tech). Les résultats sont en cours d'exploitation.

Par ailleurs, nous avons progressé dans l'étude et le développement de la stratégie de biocontrôle innovante (brevet déposé en décembre 2023) combinant désinhibition des défenses de la plante par un DDP (Désinhibiteur des Défenses de la Plante) et stimulation de ces dernières par un SDP (Stimulateur de Défenses des Plantes). Pour des essais conduits en conditions semi-contrôlées, une analyse transcriptomique a permis de mettre en évidence une activation très précoce de gènes de défenses induite par le DDP. Une analyse par RNAseq a été réalisée afin d'identifier les gènes différentiellement régulés en réponse aux traitements DDP / SDP / DDP + SDP et des gènes marqueurs de la désinhibition. Les données obtenues sont en cours de traitement. Cette nouvelle stratégie a été éprouvée dans trois vignobles. Dans deux d'entre eux (Bourgogne et Val de Loire), des résultats très encourageants ont été obtenus en protection contre le mildiou pour un millésime 2024 marqué par une très forte pression de cette maladie. La combinaison DDP+demi-dose de SDP a en effet permis de réduire l'utilisation de Cu de 50%, tout en gardant une efficacité de protection identique à celle d'un traitement Cu de référence pleine dose. Ces travaux se poursuivent dans le cadre des projets DEREBIO (ANR Ecophyto maturation) et VITIGUARD (BPI France).

Enfin, les travaux visant à développer une stratégie de biocontrôle ciblée sur la reproduction sexuée de *P. viticola* ont été initiés. Nous cherchons à identifier les mécanismes moléculaires responsables de l'induction de cette phase. Chez *P. viticola*, la reproduction sexuée a lieu entre des individus diploïdes de types sexuels différents (espèce hétérothallique). Chez une espèce modèle proche, *Phytophthora infestans* (agent du mildiou de la pomme de terre), la communication entre ces types sexuels se fait par la production d'hormones qui ont été décrites. La structure et la stéréochimie de l'hormone d'accouplement de Phytophthora, appelée hormone alpha1 ont en effet été caractérisées. Cette hormone induit la production de spores sexuées et est fonctionnelle pour d'autres espèces de Phytophthora. Dans VITAE, nous travaillons sur la synthèse de l'hormone alpha1 afin de tester son rôle dans la reproduction du mildiou de la vigne. La synthèse

chimique de cette hormone est toutefois longue (12 à 18 étapes) et les rendements globaux sont très faibles. Nous avons réussi à mettre en place une séquence synthétique multi-étapes (impliquant des réactions de protection, d'oxydation douce et de Wittig) permettant de produire un premier intermédiaire clé. Parallèlement, nous chercherons à extraire et isoler l'hormone spécifique du mildiou de la vigne en réalisant des croisements entre souches de différents types dans des feuilles de vigne.

WP3 – Résistance génétique de la vigne

Pere Mestre et François Delmotte

Les travaux sur la résistance génétique de la vigne ont permis d'identifier des espèces de *Vitis* résistantes au black rot (publication en cours de révision). Quatre populations de ségrégation dérivées de ces génotypes ont été évaluées pour la résistance à l'aide d'un test en conditions contrôlées en serre, développé dans le cadre du projet. Trois ces populations montrent une ségrégation de la résistance, et les analyses génétiques pour comprendre les bases de la résistance sont en cours. En revanche, pour la quatrième population la résistance ne semble pas se transmettre à la descendance.

Enfin, concernant l'identification des cibles de résistance chez *P. viticola*, la cartographie génétique de populations ségrégant pour la virulence vis-à-vis de *Rpv10* et *Rpv12* ont conduit à l'identification de régions chromosomiques associées à la virulence pour chacun de ces deux gènes. En parallèle, des marqueurs moléculaires ont été développés pour faire de la veille épidémiologique de la virulence vis-à-vis de *Rpv3*.

WP4 – Mobiliser la biodiversité et les services écosystémiques

Adrien Rusch

Les travaux sur la lutte biologique par conservation ont permis d'identifier plusieurs espèces d'auxiliaires clés, notamment des araignées des familles Salticidae, Philodromidae et Oxyopidae, impliquées dans la régulation des insectes ravageurs de la vigne (eg, *Lobesia botrana*, *Scaphoideus titanus*, *Empoasca vitis*, *Dactylosphaera vitifoliae*). Les analyses actuelles portent sur les effets de la structure des réseaux d'interactions sur les niveaux de régulation naturelle, en particulier via la connectance, la complémentarité fonctionnelle et le chevauchement de niche.

Par ailleurs, les analyses menées sur les effets des pratiques viticoles et du contexte paysager permettent désormais d'identifier avec précision les leviers favorisant la présence et l'abondance des principaux taxons. Parmi les facteurs déterminants figurent la limitation de l'usage des produits phytosanitaires, le maintien d'un couvert végétal important dans les parcelles ainsi que l'aménagement soigné de leur environnement proche. Des études ont mis en évidence que des paysages composés de petites parcelles de vigne et riches en habitats semi-naturels – tels que forêts ou prairies – favorisent la régulation naturelle des insectes ravageurs et réduisent la fréquence des traitements insecticides. Des résultats analogues ont été obtenus concernant l'occurrence du mildiou, suggérant qu'une hétérogénéité accrue du paysage atténue globalement les pressions

exercées par les insectes et les pathogènes de la vigne. De plus, les analyses portant sur la réponse de quatorze groupes taxonomiques et de quatorze indicateurs de fonctions écologiques confirment que ces pratiques soutiennent la diversité multitrophique, bien que tous les groupes n'y réagissent pas de manière uniforme. De manière plus globale, la hiérarchisation des effets des filtres environnementaux – de l'échelle de la parcelle jusqu'à la structure des paysages – met en lumière un impact délétère majeur de l'utilisation de pesticides sur de nombreux groupes, notamment les oiseaux et les arthropodes.

Enfin, les travaux consacrés à l'étude des synergies et antagonismes entre conservation de la biodiversité et production viticole montrent que certaines combinaisons de pratiques et de contextes paysagers permettent l'émergence de relations synergiques. Autrement dit, la mise en œuvre de pratiques favorables à la biodiversité n'impose pas nécessairement une baisse de productivité : les deux objectifs peuvent être conciliés.

WP5 – Reconception des systèmes de culture

Anne Mérot

Les travaux sur la combinaison de leviers et la reconception des systèmes de culture ont été poursuivis à travers la caractérisation de parcelles agroécologiques du réseau national. Des données ont été collectées sur deux années concernant la vigne (productivité, statut hydrique et azoté, développement végétatif), l'enherbement, les maladies et les pratiques viticoles. L'année 2024 a été marquée par un enrichissement inédit des indicateurs mesurés sur trois compartiments : le sol (mesures de biomasse microbienne du microbiote et des oospores de mildiou), la dispersion des oospores par splashing et la biodiversité (infrastructures agroécologiques). L'ensemble de ces mesures est consigné dans un protocole interdisciplinaire et un classeur de modes opératoires.

La thèse d'Elsa Robelot s'est poursuivie avec l'élaboration d'une grille de caractérisation du niveau d'agroécologie mis en œuvre dans les exploitations viticoles, utilisée pour analyser le lien entre ce niveau et les logiques d'action. Des enquêtes ont également été menées en Californie afin d'examiner le potentiel du vitipastoralisme comme levier de transition agroécologique.

WP6 – Valorisations économiques et incitations

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

Les travaux économiques se sont poursuivis en 2024 et 2025 autour de différents instruments incitatifs. Les travaux sur l'assurance, notamment, montrent que la réglementation actuelle des assurances climatiques subventionnées dans le cadre de la PAC limite la mise en place d'assurances maladies et freine l'adoption de pratiques plus durables. Par ailleurs, l'incertitude sur la qualité des outils d'aide à la décision (OAD) freine leur expérimentation, conduisant à un apprentissage lent. Une assurance spécifique pourrait encourager davantage d'expérimentations et favoriser à long terme l'adoption de pratiques plus économies en pesticides, en tenant compte des effets comportementaux spécifiques à l'agriculture. En parallèle, une étude sur le soutien collectif à l'adoption de variétés résistantes a été menée en Champagne. Les résultats montrent que les

viticulteurs sont plus enclins à intégrer ces variétés dans leurs vignobles lorsqu'un accompagnement technique collectif leur est proposé.

Le consortium VITAE a par ailleurs effectué des évaluations des attentes environnementales des consommateurs en se concentrant dans un premier temps sur la valorisation des performances en biodiversité. Par un travail interdisciplinaire (écologie et économie expérimentale) il a été possible de mettre en place un indicateur « Biodiv-Score » facilement interprétable par les consommateurs (via un code couleur standard) et montrer comment les consommateurs (notamment les jeunes générations) valorisent ce type d'allégation au même titre que la certification BIO.

Sur le volet œnologie, la thèse de Marie-Amélie Alayrac s'est poursuivie autour de deux axes. Le premier vise à identifier des marqueurs analytiques de l'altération des vendanges et des vins liés aux principales maladies cryptogamiques, afin de fournir des indicateurs aux viticulteurs. Les analyses des millésimes 2023 et 2024 confirment le lien entre la présence de certains composés, assez faciles à mesurer, et l'obtention de vendanges affectées par le mildiou ou le black rot. Ces composés constituent de bon marqueur de l'état d'attaque de la vendange par ces maladies. Le second axe porte sur l'analyse de raisins et vins issus de variétés tolérantes ou résistantes, descendantes pour l'un des parents du Cabernet franc et du Petit Verdot. Ces génotypes cultivés sur le site de INRAE Bordeaux Aquitaine possèdent deux gènes de résistance au mildiou et à l'oïdium. L'évaluation œnologique (sensorielle et analytique fine) des jus de raisins et vins blancs ou rouges (plus de vingt composés volatils analysés) a permis de caractériser leur diversité sensorielle. Les vins les plus représentatifs ont fait l'objet d'une évaluation sensorielle et d'un marché expérimental (évaluation des consentements à payer) auprès d'un panel de plus de 200 consommateurs en 2025, avec des réactions positives concernant les vins issus de variétés résistantes de dernière génération.