



HAL
open science

Rapport final du projet Ecophyto RIPP-VITI: Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale

Marc Voltz, Cécile Dagès, Laure Hossard, Aurélie Metay, Carole Bedos,
Xavier Delpuech, Jean Paul Douzals

► To cite this version:

Marc Voltz, Cécile Dagès, Laure Hossard, Aurélie Metay, Carole Bedos, et al.. Rapport final du projet Ecophyto RIPP-VITI: Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale. INRAE Montpellier - UMR LISAH. 2024, 39 p. hal-04719555

HAL Id: hal-04719555

<https://hal.inrae.fr/hal-04719555v1>

Submitted on 3 Oct 2024

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

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

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale



RIPP-VITI

Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale

APR « Leviers territoriaux pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits phytopharmaceutiques »

Rapport final V1

[M Voltz, C. Dagès, L. Hossard, A. Metay, C. Bedos, X. Delpuech, J.-P. Douzals]

Date de la version du rapport : 28/03/ 2024

Coordonnées du laboratoire

UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 2 place Pierre Viala, F-34060 Montpellier, France

Identité et coordinateur du projet de recherche : Marc Voltz UMR LISAH marc.voltz@inrae.fr

Action pilotée par les Ministères chargés de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Santé et de la Prévention, (MSP), et de la l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français pour la Biodiversité (OFB), par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au plan Écophyto II+

Table des matières

SYNTHESE	3
Contexte général et enjeux scientifiques et techniques	4
Objectifs généraux du projet	5
Quelques éléments de méthodologie.....	5
Résultats obtenus.....	7
Implications pratiques, recommandations, réalisations pratiques, valorisation.....	15
Partenariats mis en place, projetés, envisagés.....	17
Pour en savoir plus (quelques références).....	18
Résumés	23
RAPPORT SCIENTIFIQUE.....	26
Eléments méthodologiques relatifs à l'approche participative par jeu sérieux.....	27
Eléments méthodologiques relatifs à l'évaluation de la durabilité des systèmes viticoles	29
Eléments méthodologiques relatifs à la modélisation environnementale des impacts de l'usage des PP sur les compartiments air, sol et eau à l'échelle d'un territoire	30
Eléments méthodologiques relatifs à la modélisation de l'impact de l'enherbement sur le développement de la vigne	35
Références bibliographiques citées	36
Annexe : textes des publications.....	38
Annexe : partie confidentielle	39

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale



SYNTHESE

RIPP-VITI

Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale

APR « Leviers territoriaux pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits phytopharmaceutiques »
Synthèse pour les décideurs
[M Voltz, C. Dagès, L. Hossard, A. Metay, C. Bedos, X. Delpuech, J.-P. Douzals]
Date de la version du rapport : 28/03/ 2024

Coordonnées du laboratoire

UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 2 place Pierre Viala, F-34060 Montpellier, France

Identité et coordinateur du projet de recherche : Marc Voltz UMR LISAH marc.voltz@inrae.fr

Action pilotée par les Ministères chargés de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Santé et de la Prévention, (MSP), et de la l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français pour la Biodiversité (OFB), par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au plan Écophyto II+

Contexte général et enjeux scientifiques et techniques

Le plan Ecophyto, établi par le gouvernement en 2008 à la suite du Grenelle de l'Environnement en 2007, ambitionne une baisse de 50% de l'utilisation des produits phytosanitaires (PP) en France. Cette baisse devait être opérée initialement à l'horizon 2018, et est à présent envisagée à l'horizon 2030 dans le cadre d'une révision de la stratégie Ecophyto. Un récent rapport parlementaire sur le plan (C.E. Ecophyto, 2023) constate que les indicateurs d'usage des PP sont au même niveau qu'en 2009, avec toutefois une avancée liée au retrait des molécules les plus dangereuses, à savoir les molécules CMR à risques carcinogène-mutagène-reprotoxique.

Le secteur viticole est particulièrement concerné, car malgré les différentes incitations à réduire l'usage des PP, il reste très consommateur en PP, avec un IFT moyen de 15,3 en 2016 et de 12,4 en 2019 à l'échelle nationale (Agreste 2019, 2021). Cet usage est important et correspond à environ 20% de la consommation totale de pesticides pour moins de 3% de la SAU française (C.E. Ecophyto, 2023). On constate corrélativement des niveaux de pollution de l'air et des eaux élevés dans les zones viticoles. Les prélèvements référencés dans la base de données PhytAtmo comme provenant de sites viticoles indiquent une contamination saisonnière de l'air avec jusqu'à 24 ng/m³ en cumul hebdomadaire moyen des concentrations (toutes substances confondues) au mois de juin (ANSES, 2017). Une étude récente montre également une contamination de l'air ambiant d'écoles situées à proximité de vignes, avec des concentrations jusqu'à plus de 20 ng/m³ (Raheison et al., 2019). Les sources de composés vers l'atmosphère sont identifiées : dérive des gouttelettes pendant l'application, volatilisation ou érosion éolienne en post-application. Par ailleurs, la contribution de la dispersion atmosphérique à l'exposition des personnes et des écosystèmes non cibles est reconnue. Pour les ressources en eau, il est avéré que dans les zones viticoles sont observées des contaminations significatives des eaux par les pesticides, et notamment par les herbicides utilisés en vigne (ex. AERMC, 2007; SOeS-CGDD, 2014, AERMC, 2022).

Malgré les efforts réalisés, notamment par la mise en place de mesures agri-environnementales (MAET, MAEC), l'usage des pesticides évolue peu en zone viticole. Les MAE sont effectivement reconnues comme limitant les usages en viticulture (Kuhfuss et Subervie, 2018), mais la proportion d'agriculteurs les adoptant ne semble pas suffisante (comm. pers. FREDON 2019). Par ailleurs, il a déjà été analysé par simulation que la diminution d'usage permise par des pratiques proches des MAE proposées en viticulture ne permet pas nécessairement une diminution d'impact suffisante en termes de contamination des eaux de surface (Biarnes et al., 2017). L'enjeu est donc d'engager des stratégies de réduction d'usage plus nettes et à capacité d'adoption élargie afin d'aboutir à des diminutions d'usage et d'impact à l'échelle de territoires dans leur ensemble.

La possibilité opérationnelle de stratégies de réduction des usages est montrée par le réseau des fermes Dephy. La synthèse récente des données de ce réseau pour les fermes viticoles (C.A.N. Dephy, 2023) montre en effet qu'entre l'état initial des fermes et la moyenne des campagnes 2018 à 2020, une baisse moyenne de 24% de l'IFT hors biocontrôle est observée, sans impact négatif sur la maîtrise des bioagresseurs. Ces résultats encourageants sont toutefois obtenus à l'échelle d'un réseau d'exploitations volontaires. Ils ne peuvent donc pas directement présager d'évolutions potentielles pour l'ensemble des exploitations d'un territoire, dont la diversité des modes de production viticole peut différer de celles des exploitations DEPHY. De surcroît, les résultats des fermes DEPHY ne concernent que la réduction d'usage des PP et n'établissent pas de lien avec une réduction des impacts environnementaux et sanitaires des usages.

Les enjeux scientifiques sont donc de développer i) des approches d'élaboration de stratégies de réduction des impacts qui concernent l'ensemble d'un territoire et ii) des méthodes d'objectivation du lien entre réduction d'usage et réduction d'impact sur les différents compartiments environnementaux à cette échelle.

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

Objectifs généraux du projet

Dans ce contexte, le projet RIPP-Viti, soutenu par l'APR « leviers territoriaux » de 2020 à fin 2023, a visé l'élaboration et l'évaluation de stratégies de réduction des usages des PP mais aussi des impacts des usages à l'échelle d'un territoire viticole méditerranéen. L'hypothèse majeure du projet est qu'il est possible d'atteindre des réductions marquées d'usage et d'impact des PP à l'échelle de tout un territoire en élaborant des stratégies de réduction adaptées aux différentes contraintes parcellaires, d'exploitations et de filières présentes sur le territoire.

Au plan méthodologique, les objectifs du projet ont été de développer et/ou d'instancier :

- i) une approche participative par jeu sérieux pour réfléchir à des stratégies de changements d'usage des PP pour une diversité de types d'exploitations viticoles
- ii) des outils de modélisation numérique pour évaluer les impacts environnementaux de l'usage des PP sur les compartiments sol, air et eau à l'échelle d'un territoire viticole hétérogène
- iii) des outils d'analyse de la durabilité des exploitations viticoles et de l'effet des pratiques d'enherbement sur le rendement viticole

Quelques éléments de méthodologie

La démarche du projet a consisté en trois étapes principales.

- Un diagnostic initial des exploitations viticoles existantes sur le territoire d'étude, le bassin du Rieutort (voir description ci-dessous). Cette étape a permis de caractériser la situation viticole de référence du territoire et d'élaborer une typologie des exploitations selon leurs caractéristiques propres, notamment label de production (HVE, Bio...), mode de valorisation du raisin (cave particulière, cave coopérative), taille et structure d'exploitation, pratiques de gestion des bioagresseurs.
- La mise en place d'une approche participative pour réfléchir et élaborer des stratégies de réduction des usages et impacts des PP adaptées aux différents types d'exploitation viticoles en fonction de leurs contraintes spécifiques (par ex. main d'œuvre, sols). L'approche participative a été menée en parallèle avec un groupe d'experts (acteurs de la filière viticole et du conseil, gestionnaires des ressources en eau, agronomes, hydrologues, chercheurs) et un groupe d'acteurs viticoles (producteurs, conseillers viticoles) du bassin du Rieutort. Elle a été menée à l'aide d'un jeu sérieux, développé spécifiquement lors du projet RIPP-Viti. Le choix d'opérer avec plusieurs groupes de natures différentes avait pour objectif de favoriser une diversité d'ambitions et de points de vue dans la conception des stratégies. Il en ressort plusieurs options de stratégies d'évolution des pratiques et de réduction des usages pour chaque type d'exploitation identifié lors de l'étape de diagnostic. Pour la conception des stratégies les joueurs du jeu pouvaient i) combiner des leviers de réduction d'usage à l'échelle parcellaire et implanter des zones tampons limitant la dispersion des PP à l'échelle paysagère, ii) moduler les leviers en fonction des contraintes d'exploitation viticole (ex. sol, climat, objectifs de rendements) afin de favoriser la durabilité des leviers envisagés, iii) réfléchir à des leviers collectifs (ex. mise en place de Groupement de Défense contre les Organismes Nuisibles (GDON), achat de matériel en CUMA).
- L'évaluation approfondie des stratégies élaborées aux plans de la durabilité des exploitations et des impacts environnementaux. Cette étape a fait l'objet de nombreux développements méthodologiques.
 - L'outil DEXiPM (DECision eXpert for integrated Pest Management), conçu pour l'analyse de la durabilité des cultures arables (Pelzer et al., 2012) et adapté aux vignes (DEXiPM Vigne®, Gary et al., 2015), a fait l'objet d'un paramétrage pour les types d'exploitations identifiés sur le bassin du Rieutort.
 - Un modèle original de simulation, MIPP, a été enrichi pour simuler dans un paysage viticole hétérogène les nombreux processus de dispersion des PP depuis

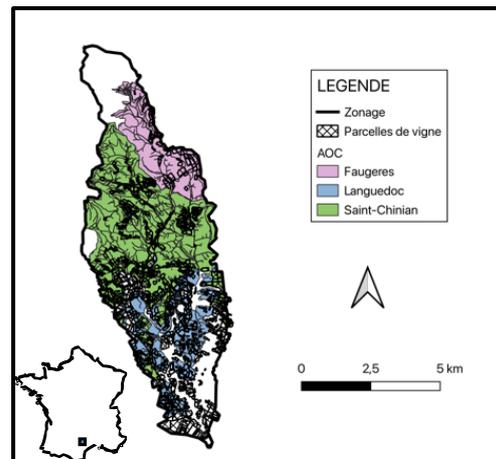
RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

leur lieu d'épandage vers l'environnement, afin de pouvoir estimer quantitativement les conséquences des pulvérisations de PP sur la contamination des eaux, des sols et de l'air en milieu viticole.

- Un modèle de simulation de la dispersion des PP lors de l'application, ADDI-SprayDrift, a été développé et intégré à MIPP. Il permet de simuler le processus de dérive aérienne et sédimentaire en fonction des caractéristiques du pulvérisateur, du développement du végétal, de la composition de la bouillie et des conditions climatiques (Djourhi et al., 2023).

Les évaluations menées avec ces outils ont conduit à une estimation de la durabilité des exploitations et des impacts en cas d'application des stratégies élaborées par les groupes ayant appliqué le jeu sérieux. Ils ont donc permis de mesurer si les réductions d'usage des PP posent ou non des problèmes de durabilité des exploitations et dans quelle mesure des réductions d'impact apparaissent et sont suffisantes au regard des normes.

Figure 1 : localisation du bassin du Rieutort et zonage des AOP



Le bassin viticole choisi pour la mise en œuvre du projet RIPP-viti a été le bassin du Rieutort (voir carte ci-dessus en fig.1). Localisé en grande partie dans la plaine viticole héraultaise, en bordure des premiers contreforts du Massif Central, ce bassin s'étend sur 45 km², dont 15,4 km² sont consacrés à la culture de la vigne. Il présente une grande diversité de sols (sols d'alluvions, sols calcaires et acides, sols profonds et superficiels...), de terroirs viticoles (AOP Languedoc strict ou AOP Saint-Chinian et Faugères) et de modes de production associés (IGP, AOP en caves coopérative ou caves particulières). Le bassin du Rieutort regroupe ainsi une large gamme des situations de production viticole que l'on peut rencontrer en zone languedocienne. Il constitue ainsi un modèle pertinent pour l'étude de stratégies d'évolution des pratiques d'usage des produits phytosanitaires à l'échelle d'un territoire. De surcroît, il représente une zone à enjeu au plan de l'impact des usages de produits phytosanitaires puisqu'il fait partie du bassin d'alimentation du captage d'Alimentation en Eau Potable (AEP) du Limbardie sur la commune de Murviel les Béziers, qui avait été classé en 2009 comme « captage grenelle »¹ dans la liste des captages les plus menacés par les pollutions diffuses. Le Rieutort fait ainsi l'objet d'animations agri-environnementales par l'Etablissement Public Territorial de Bassin Orb et Libron, qui stimule et appuie le déploiement de MAEC par les viticulteurs et de qualifications type Terra Vitis et Haute Valeur Environnementale par les filières de production présentes (AOP, IGP, caves coopératives...).

¹http://www.deb.developpement-durable.gouv.fr/telechargements/ouvrages_grenelles.php

Résultats obtenus

Des stratégies co-conçues d'évolution des pratiques viticoles permettant une réduction d'usage à l'échelle d'un territoire

Construction des stratégies

Les stratégies ont été conçues à travers trois sessions (deux avec des viticulteurs, une avec des "experts" régionaux) de mise en œuvre du jeu sérieux co-construit dans le cadre du projet (Hossard et al., 2022). Ces stratégies ont été élaborées pour trois types majeurs d'exploitations viticoles identifiées sur le terrain du Rieutort :

- (1) HVE en coopérative 100% IGP ou mixte IGP-AOP (nommée ensuite **HVE-coop**) ;
- (2) Agriculture Biologique en cave particulière en AOP Saint Chinian (**Bio-Saint Chinian-part**);
- (3) Sans label en cave particulière en AOP Saint Chinian (**AOP-Saint Chinian-part**).

Ces exploitations types présentent des différences en termes d'objectifs de rendement, de tailles et de pratiques (ex. nombre de labours, pratiques phytosanitaires) (voir fig.2).

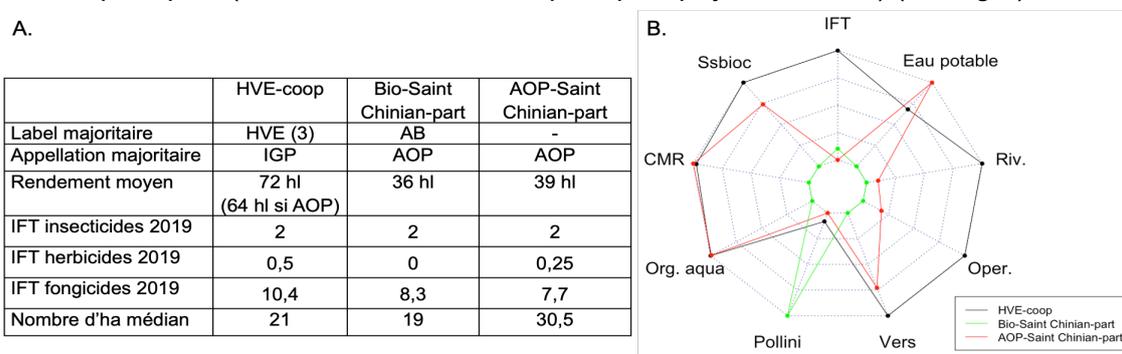


Figure 2. Les exploitations types. A) Principales caractéristiques ; B) Performances initiales

L'élaboration des stratégies par les joueurs a consisté à choisir des options de gestion favorisant la réduction de l'usage ou de la dispersion environnementale des PP. Ces options pouvaient être choisies parmi un ensemble de leviers de gestion aux échelles parcellaire, de l'exploitation et du territoire (Tableau 1), préalablement identifiés par les groupes ayant co-construit le jeu. Chaque joueur a effectué ses choix selon ce qui lui a semblé possible pour l'exploitation-type dont il était supposé responsable. De surcroît, chaque joueur a pu moduler la stratégie principale de l'exploitation selon 3 types de parcelles aux contraintes différentes (sol, pente, localisation), dont une parcelle supposée proche d'habitations. Pour une exploitation-type jouée par plusieurs joueurs, différentes stratégies ont donc été élaborées, reflétant une diversité d'opinions sur les changements de pratiques possibles. Ainsi, à l'échelle du territoire d'étude, les stratégies construites sont différenciées en fonction des contraintes paysagères, des structures d'exploitation (ex. taille, label, main d'œuvre) et des objectifs de production viticole.

Echelle	Cible	Levier
Territoire	Tous les pesticides	Partage de matériel de pulvérisation plus performant (buses anti-dérive, panneaux récupérateurs)
	Herbicides	Achat collectif d'intercep
	Tous les pesticides	Employé commun
Exploitation	Tous les pesticides	Formations aux différents leviers (ex. stratégies fongiques, réglages du pulvérisateur, intercep)
	Tous les pesticides	Investissement dans du matériel de pulvérisation plus performant (buses anti-dérive, panneaux récupérateurs)
	Tous les pesticides	Gestion des fossés (fauche, curage, brûlis, chimique)
Parcelle	Herbicides	Gestion rang et inter-rang (nombre passages glyphosate + travaux du sol)
	Insecticides	Rejoindre un GDON (-1 traitement)
	Fongicides	Changer les molécules, les cadences et les doses (stratégies 0 CMR, Raisonné+, Bio, Bio+, Variétés résistantes)
	Tous les pesticides	Enherbement
	Tous les pesticides	Mise en place d'une haie (pour les parcelles proches d'habitations)

Tableau 1. Leviers de changement de pratiques aux différentes échelles

Des stratégies co-conçues diversifiées réduisant les impacts

La majorité des stratégies co-conçues combinent des changements dans les gestions insecticide, herbicide et fongicide. Pour tous les groupes de joueurs, les stratégies construites ont été plus ambitieuses pour les parcelles proches des habitations. Pour le groupe d'experts, les stratégies co-conçues ont abouti à des réductions plus fortes des herbicides et des fongicides au travers de choix engagés (arrêt des herbicides, passage en Bio, enherbement) et de demandes de subventions plus élevées. Les choix effectués ont différé au sein et entre les types d'exploitation. Par exemple, les efforts portés sur la réduction des herbicides et des travaux du sol étaient plus marqués pour les exploitations AOP-Saint Chinian-part que pour les exploitations HVE-coop. Les choix de gestion fongiques étaient très variables, la plupart des joueurs choisissant des stratégies proches de leur gestion actuelle, sauf sur les parcelles proches des habitations. Certains joueurs de l'exploitation HVE-coop ont cependant choisi de mobiliser des stratégies en rupture (Bio, variétés résistantes).

Au total, on observe, pour chaque type d'exploitation joué plusieurs fois, une diversité d'évolutions : il n'y pas de trajectoire d'évolution type. Pour les types d'exploitation HVE-coop et AOP-Saint Chinian-part, les joueurs ont proposé des changements en termes de désherbage du rang, de travail du sol, et de mode de protection fongique, souvent plus ambitieux sur les îlots proches des habitations. Ces stratégies mettent en œuvre des leviers de substitution (ex. entre molécules pour les fongicides ; désherbage mécanique au lieu de chimique pour les herbicides), qui correspondent à des leviers déjà mobilisés par certains viticulteurs ailleurs (ex. plus/moins de CMR en HVE, qui s'est largement développé en viticulture depuis 2010). On note cependant un gradient dans ces stratégies, certaines amenant à une certaine rupture, comme la conversion au Bio et le passage à des cépages résistants ou encore l'arrêt du glyphosate.

A l'échelle du bassin, l'agrégation des stratégies construites par les joueurs amène, pour les trois sessions de jeu, à des améliorations nettes des impacts potentiels, en considérant uniquement la quantité épandue des produits et leurs caractéristiques toxicologiques. Ces stratégies amènent à une baisse très forte de l'utilisation des molécules CMR (-90% en moyenne, avec 85% des cas où aucun CMR n'est utilisé) et à des baisses marquées des IFT (-39% en moyenne pour les produits, hors biocontrôle).

Des leviers jugés plus ou moins facilement mobilisables

Si les stratégies construites par les joueurs restent "virtuelles", celles-ci ont été jugées réalistes ou partiellement réalistes par les joueurs, car dépendant de subventions ou de prix de vente plus élevés (pour compenser d'éventuelles pertes de rendement). La mobilisation des leviers proposés a été diverse. Certains leviers ont été plébiscités par les joueurs : mettre en place une haie sur la parcelle proche des habitations, se constituer en GDON pour réduire le nombre de traitements contre la cicadelle, enherber les tournières et se former (aux réglages du pulvérisateurs, à des stratégies fongiques plus économes). Plusieurs leviers ont été jugés plus difficiles à mobiliser que d'autres, comme par exemple l'enherbement (risque de compétition pour l'eau, temps de travail supplémentaire), l'utilisation de pulvérisateurs à panneaux récupérateurs (manoeuvrabilité, coût, temps de travail) et le passage au Bio (pertes de rendement, temps de travail, label trop "rigide"). L'essentiel des leviers mobilisés par les acteurs (locaux et experts) s'exercent à l'échelle de l'exploitation, qui reste l'échelle majeure de décision des pratiques. Certains leviers étaient cependant collectifs : la mise en place de GDON, le financement collectif de main d'oeuvre (ex. pour le désherbage mécanique, qui pourrait être organisé par la cave coopérative locale), des formations ou encore des investissements collectifs dans certains types de pulvérisateurs (ex. pour traiter les parcelles en bordure d'habitation). Les participants du jeu ont toutefois souligné la difficulté de proposer de tels leviers collectifs. Si le levier "GDON" et les leviers "formations" ont été plébiscités lors de la construction des stratégies par les acteurs, les deux autres leviers, nécessitant de la coordination forte entre acteurs ont été jugés irréalistes par les viticulteurs (et en partie par les

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

experts). En effet, aucun acteur du bassin ne porte actuellement ce type de coordination. Des difficultés techniques ont aussi été évoquées (ex. pulvérisateurs type panneaux récupérateurs inadaptés à de nombreux types de parcelles, ex. en pente, inter-rangs étroits). La difficulté majeure évoquée est liée au temps de travail, aussi bien en termes d'adaptation du matériel à l'échelle de la parcelle (différents pulvérisateurs), que de désherbage mécanique. Ces freins ont été jugés majeurs par les viticulteurs.

En conclusion, l'avantage de la méthode suivie est d'avoir co-construit une diversité de combinaisons de leviers de réduction des usages des produits phytosanitaires, ces leviers étant a priori possibles pour la majorité des exploitations viticoles du Languedoc-Roussillon. L'objectif n'était en effet pas de construire "une stratégie" à diffuser, mais bien d'explorer les leviers mobilisables localement, de manière individuelle et collective (à l'échelle de tout ou partie du bassin versant).

Une mise en débat collective des stratégies et de leurs évaluations est prévue à l'été 2024, avec l'aide de l'EPTB Orb&Libron. Cet atelier réunira l'ensemble des experts et acteurs locaux ayant participé à la démarche participative, et élargira l'arène des acteurs à l'ensemble des acteurs agricoles du territoire, ainsi que les décideurs locaux (maires en particulier). Cet atelier vise à générer une discussion, avec l'ensemble des parties prenantes, sur la faisabilité technique et organisationnelle des leviers individuels et collectifs (à l'échelle du territoire), et les moyens de les mettre en œuvre sur le territoire.

Une durabilité potentielle conservée, voire renforcée, des exploitations évoluant selon les stratégies co-conçues

La durabilité des stratégies co-conçues a été évaluée avec l'outil d'analyse multicritère DeXiPM et comparée à celles des stratégies de gestion phytosanitaire initiales sur le bassin du Rieutort. Les données de l'enquête menée dans le bassin versant du Rieutort auprès de 23 viticulteurs (Schneider, 2020) ont fourni des informations sur les exploitations (taille, certification, vinification, type de sol, rendement, installations agroécologiques) et les pratiques initiales des agriculteurs. L'évaluation a été menée pour les stratégies relatives aux trois types d'exploitations déjà citées, exploitations HVE-coop, Bio-Saint Chinian-Part et AOP-Saint Chinian-Part, en distinguant de surcroît parmi les exploitations HVE-coop celles 100% IGP (HVE-Coop 100% IGP) et celles mixtes IGP-AOP (HVE-Coop mixte). Seules les situations initiales et les stratégies les plus ambitieuses, proposées par les collectifs d'experts et d'acteurs locaux, de ces 4 types d'exploitations ont été simulées pour éviter la redondance. Dans les exploitations viticoles en coopérative mixte (fig. 3A), des changements significatifs ont été observés avec l'adoption du label AB et une gestion plus économe des ressources. Les stratégies ont permis d'augmenter la durabilité environnementale et économique, bien que la durabilité sociale soit restée élevée. Les exploitations en coopérative 100% IGP (fig. 3B) ont également bénéficié d'améliorations, notamment en termes de durabilité environnementale grâce à des pratiques réduisant l'utilisation de pesticides (herbicides notamment en lien avec la gestion d'un enherbement spontané). Cependant, la durabilité sociale a légèrement diminué, par rapport au critère de charge de travail. Dans les exploitations en cave particulière AB Saint Chinian (fig. 3C), les pratiques renforcées en agriculture biologique ont conduit à des améliorations environnementales significatives. La durabilité économique et sociale est restée élevée, bien que des investissements supplémentaires dans le matériel de pulvérisation soient nécessaires. Enfin, pour les exploitations en cave particulière AOP-Saint Chinian (fig. 3D), les changements ont principalement porté sur la réduction des herbicides et l'introduction de couverts végétaux. Bien que la durabilité environnementale ait été améliorée, les autres aspects sont restés inchangés.

En conclusion, selon l'évaluation DeXiPM Vigne, les stratégies co-conçues n'affectent pas la durabilité des exploitations viticoles étudiées malgré la réduction significative de l'usage de pesticides de synthèse. La durabilité environnementale est toujours améliorée et dans certains cas les durabilités sociales et économiques le sont également. L'évaluation multicritère DeXi est toutefois basée sur des indicateurs qualitatifs et doit donc être confirmée par des analyses

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

plus quantitatives de stratégies co-conçues, notamment en termes d'impacts sur l'environnement et les rendements viticoles.

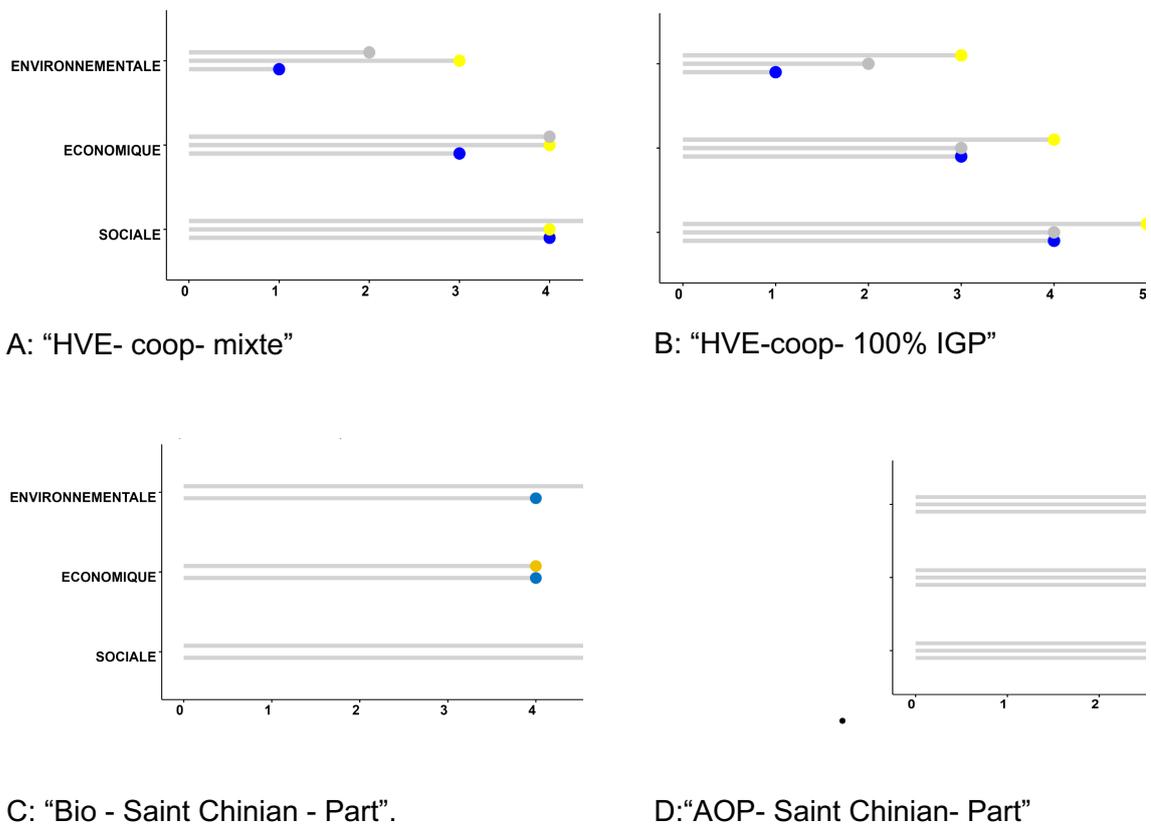


Figure 3: Evaluation DEXiPM Vigne de la durabilité environnementale, économique et sociale des stratégies co-conçues par les experts (points jaune) et les acteurs locaux (points gris) par rapport à la situation initiale (point bleu).

Une réduction globale significative des impacts mais variable selon les organismes et compartiments environnementaux concernés.

Les impacts des stratégies co-conçues ont été estimés par modélisation mécaniste et comparés aux impacts estimés des stratégies initiales déterminées par enquêtes. Les impacts suivants ont été analysés :

- i) l'exposition aux pesticides des organismes du sol sur les parcelles viticoles,
- ii) la pression polluante exercée par les eaux de ruissellement du bassin du Rieutort sur le captage en eau potable,
- iii) l'exposition aux pesticides des organismes aquatiques dans les eaux de surface issues des versants du bassin du Rieutort,
- iv) l'exposition humaine aux pesticides par dérive aérienne lors des pulvérisations.

Pour évaluer les effets de la mise en place des stratégies co-conçues à l'échelle de l'ensemble du territoire d'étude, nous avons considéré que toutes les stratégies co-conçues pour un type d'exploitation étaient plausibles et avons donc supposé que leur implémentation sur les territoires occupés par chaque type d'exploitation était équiprobable. Les substances pesticides considérées dans l'évaluation d'impact sont toutes les substances organiques de synthèse. Les substances à base de cuivre ne l'ont été que pour les impacts relatifs à l'exposition humaine par dérive, car le cuivre est déjà présent en grande quantité dans les sols

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

viticoles, ce qui rend difficile l'évaluation des impacts spécifiques sur les sols et les eaux dues aux apports actuels ou envisagés. Les métabolites des substances n'ont pas été intégrés dans l'analyse à ce stade.

Impact sur les organismes du sol

La simulation des concentrations en substances de synthèse dans les sols montre que si les doses recommandées sont respectées, le risque d'impact biologique sur les organismes du sol est très majoritairement modéré. Les concentrations simulées ne dépassent pas, bien qu'elles puissent s'en approcher, les concentrations seuils à partir desquelles une toxicité pour les organismes du sol peut être observée. Le risque estimé est évidemment inexistant pour les exploitations en AB puisque le risque lié au cuivre ne peut être évalué. La comparaison effectuée montre également que la réduction d'usage, manifeste en termes d'IFT, qui est permise par les stratégies co-conçues, ne se traduit pas par une réduction de risque pour les organismes du sol. Par exemple, les stratégies excluant l'usage de substances CMR présentent un risque accru pour les organismes du sol par rapport aux stratégies initiales car cela entraîne l'usage de molécules avec une toxicité accrue pour les organismes du sol. Cela est notamment dû à l'emploi de la difenoconazole comme fongicide. Les autres molécules contribuant le plus fortement aux risques d'impact sont le glyphosate et la spiroxamine.

Impact sur la qualité des eaux destinées à la potabilisation

L'analyse du risque d'impact sur les ressources en eau est effectuée à l'échelle de l'ensemble des eaux superficielles produites par le bassin du Rieutort. En effet, dans le contexte hydrologique méditerranéen, ce sont souvent elles qui, par infiltration ultérieure, assurent une partie de la recharge des captages d'eau potable et sont donc susceptibles d'en altérer la qualité. Le cas du captage d'eau du Rieutort situé à l'exutoire du bassin est un exemple de cette situation. On observe une forte variabilité interannuelle des contaminations de l'eau en lien avec la forte variabilité des cumuls de pluie (figure 4).

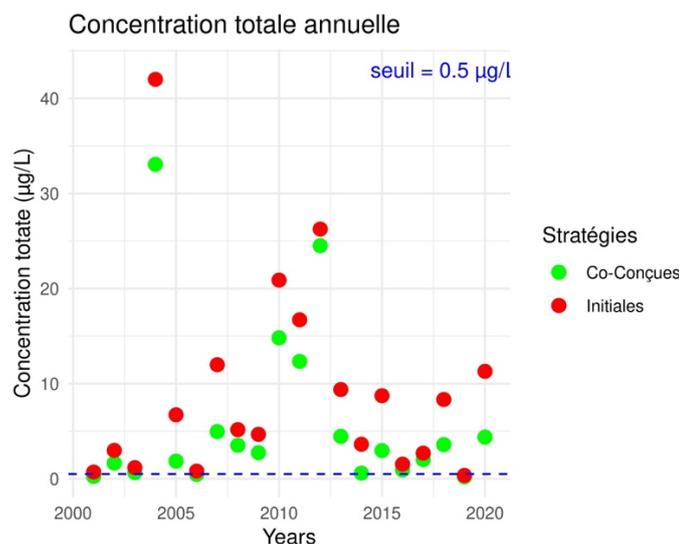


Figure 4 : Evolution interannuelle simulée de la concentration totale moyenne en substances actives de synthèse dans les eaux superficielles du bassin du Rieutort selon les stratégies initiales des exploitations (points verts) ou les stratégies co-conçues par approche participative (points rouges).

Pour les années à cumuls de pluie élevés, le risque de proximité temporelle entre pluie et épandage de PP est accru et par voie de conséquence le risque de forts lessivages des substances épandues vers les eaux de ruissellement. Ce résultat illustre bien la difficulté de mesurer l'impact réel des usages sur la qualité des eaux superficielles à partir d'observations *in situ* limitées dans le temps. Pour la grande majorité des années, la contamination des eaux

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

est très au-dessus de 0.5 µg/L, qui constitue la limite fixée de potabilité des eaux toutes substances pesticides confondues. Cela signifie que les eaux superficielles issues du territoire viticole exercent potentiellement une pression polluante sur les captages qu'elles alimentent. Cette pression ne peut toutefois aboutir à une contamination problématique que si la recharge du captage par les eaux du Rieutort est prépondérante par rapport à d'autres sources de recharge peu ou pas contaminées.

La mise en place des stratégies de réduction des usages spécifiques à chaque type d'exploitation du bassin du Rieutort limite significativement la contamination des eaux, qui en termes de concentration est diminuée en moyenne de 35%. Cette réduction ne suffit toutefois pas à éliminer le risque de pollution des captages car les concentrations restent toujours bien au-dessus de 0,5 µg/L. Les substances principales à la source des contaminations sont les herbicides et majoritairement le glyphosate, qui contribue à plus de 50% à la concentration totale toutes substances confondues. On notera toutefois que les fongicides contribuent aussi de manière non négligeable mais que leur impact est réparti entre de nombreuses molécules dont les principales sont le metiram, le folpel, le fluopicolide et le tebuconazole.

Impact sur les organismes aquatiques

Pour analyser les risques d'impact sur les organismes aquatiques, nous avons comparé les concentrations moyennes annuelles estimées des substances actives dans les eaux superficielles aux seuils de non impact biologique pour ces organismes, tels que répertoriés dans les bases de données de référence (Ineris, PPDB). Le risque estimé n'est donc qu'indicatif car le cas du régime très intermittent d'une rivière méditerranéenne est très différent des conditions des modèles expérimentaux en laboratoire. Le risque toutes substances confondues est exprimé par la somme des ratios entre les concentrations de chaque substance et leur seuil d'écotoxicité. Il est ainsi supposé que le risque lié à l'exposition des organismes à un cocktail de substances est la somme des risques liés à chaque substance. Si la somme des ratios est supérieure à 1 on considère qu'il y a un risque élevé d'impact biologique. La figure 5 indique que les risques d'impact biologique sont très élevés, bien supérieurs à 1, tant pour les stratégies initiales que pour celles conçues pour réduire les usages de PP. On remarque cette fois que ce sont essentiellement les molécules fongicides et insecticides qui sont à l'origine du risque, dont notamment le metiram, le folpel, la spiroxamine et la deltaméthrine. Les stratégies de réduction des usages réduisent le risque sans toutefois l'éliminer.

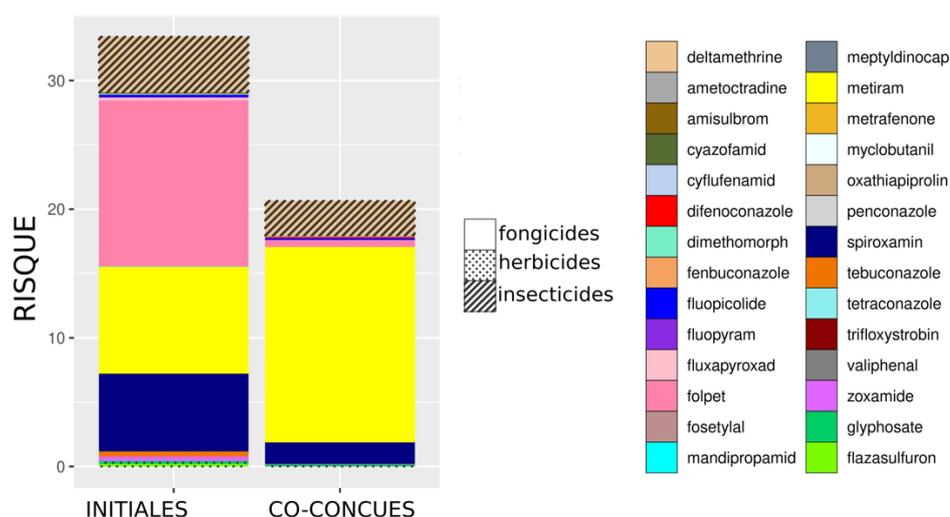


Figure 5 : Risque estimé d'impact biologique sur les organismes aquatiques de la contamination des eaux par les substances phytosanitaires de synthèse épandues sur le bassin du Rieutort selon les stratégies initiales des exploitations ou les stratégies de réduction conçues de manière participative.

Exposition humaine par dérive lors de la pulvérisation

L'évaluation de l'exposition humaine par dérive de pulvérisation a concerné les stratégies phytosanitaires conçues par les joueurs du jeu sérieux de manière spécifique pour des parcelles proches d'habitations. Pour simplifier la lecture des résultats de cette évaluation, les stratégies ne sont plus classées dans la suite selon les types d'exploitation, mais selon leur mode de protection fongique : 0 CMR, Raisonné+, Bio, Bio+, variétés résistantes, car en termes d'exposition à la dérive, c'est ce mode qui détermine les plus grandes différences entre stratégies. L'évaluation a été réalisée par simulation avec le modèle ADDISprayDrift (Djoughri et al., 2023), intégré dans le modèle MIPP, en considérant le cas de l'exposition d'un passant à 5 mètres d'une parcelle traitée avec un pulvérisateur pneumatique, pulvérisateur le plus utilisé dans la région Languedocienne.

Les résultats obtenus montrent que les stratégies co-conçues diminuent nettement l'indicateur de risque d'exposition par rapport à la stratégie initiale, avec une efficacité croissante des stratégies 0 CMR, Bio, Raisonné +, Bio+ et Variétés tolérantes (Figure 6). Ceci montre l'intérêt fort de stratégies alternatives pour limiter l'exposition des riverains dans les parcelles à proximité d'habitations. Bien que de nombreuses molécules soient appliquées dans les différentes stratégies, on observe que certaines molécules contribuent plus au risque cumulé, notamment le metiram, la spiroxamine, le cuivre, la tebuconazole ou la fenbuconazole selon la stratégie (voire la deltaméthrine pour la stratégie Variétés tolérantes, stratégie qui présente toutefois un risque très atténué par rapport aux autres stratégies). La contribution majoritaire de ces molécules est liée à leur toxicité, leur propension à pénétrer après contact cutané, leur intensité d'usage et le stade de la culture au moment de leur épandage (les molécules épandues plutôt en stade précoce génèrent plus de pertes par dérive et donc plus d'exposition). Il est intéressant d'observer que du fait d'un usage accru de cuivre, une stratégie en AB peut présenter un risque estimé d'exposition humaine plus important qu'une stratégie raisonnée avec des produits organiques de synthèse.

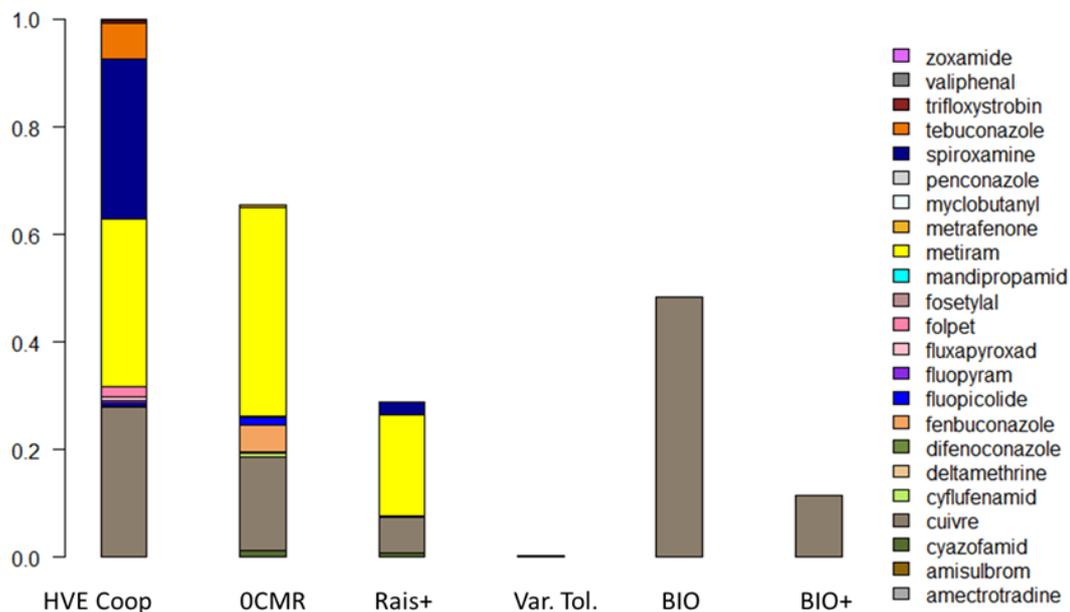


Figure 6 : Comparaison des risques d'exposition cutanée et par inhalation de passants situés à 5 m de la parcelle traitée entre stratégies selon leur mode de protection fongique. (L'indicateur de risque est normalisé par rapport à la stratégie initiale HVE-coop et montre la contribution de chaque molécule au risque cumulé).

Enfin, les résultats expérimentaux acquis dans le cadre du projet montrent la très forte efficacité d'un pulvérisateur à panneaux récupérateurs pour réduire la dérive de pulvérisation

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

par rapport au pulvérisateur pneumatique standard. Cette réduction porte sur les dépôts au sol en aval de la parcelle traitée ainsi que sur l'exposition du passant quelle que soit la partie du corps considérée (bras, jambe, tête, tronc) avec un taux de réduction de l'exposition cutanée évalué globalement à 73% et variant de 34% pour le tronc à 86% pour les jambes. Ces résultats sont cohérents avec d'autres projets (projet Casdar-CAPRIV, Sellam et al., 2022) qui confirment l'importance des modalités de pulvérisation sur le risque de dérive des PP.

En conclusion sur les impacts des stratégies co-conçues de réduction d'usage des PP:

- Les réductions d'usage des PP telles qu'envisagées par l'approche participative conduisent à des changements significatifs positifs d'impact environnemental mais variables selon la nature des impacts considérés :
 - ◆ Pour la contamination des ressources aquatiques, les stratégies co-conçues permettent d'aboutir à l'échelle du territoire considéré à une réduction des risques de pollution et d'impact d'environ 35% pour une réduction d'IFT hors produits de biocontrôle d'environ 39%. Mais cette réduction n'est pas suffisante car les risques de contamination restent au-dessus des normes de référence.
 - ◆ Pour l'exposition des organismes du sol, les risques d'impacts biologiques ne diminuent pas avec les stratégies co-conçues, plutôt défavorables en raison des substitutions de molécules opérées, mais le risque d'impact reste modéré tant pour les stratégies initiales que co-conçues.
 - ◆ Pour l'exposition humaine par dérive aérienne, la pertinence de mise en œuvre de stratégies phytosanitaires adaptées et de pulvérisateurs limitant le risque de dérive est confirmée. Les stratégies proposées lors de l'approche participative limitent le risque d'exposition, mais l'évaluation de risque réalisée ne permet pas actuellement d'apprécier si la réduction du risque est suffisante ou à quelle distance de la zone de traitement la réduction le serait.
- Les substances actives problématiques en termes d'impacts écotoxicologiques ou toxicologiques ne sont pas toujours les mêmes selon l'organisme considéré, ce qui rend délicat le choix des substances pour un objectif général de préservation de l'environnement.

De nouveaux outils opérationnels et de recherche pour la réflexion et l'évaluation de stratégies de réduction des usages et des impacts des PP.

Un jeu sérieux pour la réflexion et la conception de stratégies de réduction des impacts des PP

Pour l'approche participative menée dans le projet, nous avons construit un jeu sérieux permettant aux viticulteurs de réfléchir à leurs pratiques phytosanitaires, à l'échelle de leur exploitation et en interaction avec les autres viticulteurs du bassin versant (Hossard et al., 2022). Ce jeu a été mobilisé avec succès dans le cadre du projet avec deux groupes de viticulteurs et un groupe d'experts, et un groupe de conseillers de la Chambre d'Agriculture 34. Le jeu est opérationnel et peut être utilisé pour d'autres territoires viticoles. A cet effet il doit toutefois être paramétré pour proposer les types d'exploitation et les calendriers de traitements phytosanitaires spécifiques au territoire joué.

MIPP, un modèle mécaniste distribué original pour simuler le devenir des pesticides dans le paysage

La consolidation du modèle MIPP, Modélisation Intégrée du devenir des Pesticides dans les Paysages, et son adaptation à la viticulture, ont été réalisées à l'occasion de ce projet par un consortium d'Unités Mixtes de Recherche INRAE (LISAH, ECOSYS, EMMAH, ITAP). Ce modèle décrit mathématiquement les processus majeurs de dispersion et de rémanence des substances phytosanitaires, permettant ainsi de représenter l'évolution temporelle et spatiale des concentrations en pesticides dans le sol, les eaux superficielles et l'atmosphère à l'échelle d'un territoire. MIPP présente deux originalités fortes. Il couple les voies de dispersion

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

hydrologique et atmosphérique des pesticides et simule, dès l'application, la dispersion du nuage de gouttelettes de pesticides, donnant ainsi accès à l'estimation de l'exposition des milieux non cibles (zones non traitées, contamination aérienne). Il considère les principales hétérogénéités apportées par le milieu physique (nature des sols, parcellaire, réseau hydrographique, relief) et par la gestion agricole (gestion des sols, programme de traitements phytosanitaires). Il permet de conduire une évaluation de l'effet de leviers territoriaux. Il exige pour son application des ressources informatiques importantes et un travail d'acquisition d'informations géographiques et agronomiques sur le terrain d'application qui ne sont pas compatibles avec une utilisation dans un cadre opérationnel. Des travaux complémentaires sont toutefois en démarrage pour élaborer à terme des versions simplifiées de ce type de modélisation à des fins d'application opérationnelle.

GrapeSoil, un modèle sol-vigne-couvert herbacé pour évaluer l'impact agronomique de l'enherbement en vignoble

Une approche de modélisation a été initiée pour permettre l'évaluation des stratégies de gestion des sols (fréquence du travail du sol, couverture du sol par enherbement semé ou spontané) d'exploitations viticoles sur les bilans hydrique et azoté et le rendement de vignes. Dans le temps du projet, il n'a été possible que de développer le modèle, nommé GrapeSoil, et d'acquies un ensemble de données de référence sur la période 2021-2022 sur des vignes enherbées. L'application du modèle sur le bassin versant du Rieutord n'a toutefois pu être réalisée avant la fin du projet. Le modèle GrapeSoil est une version enrichie du modèle Walis (Celette et al., 2010), diffusé par l'IFV, avec l'ajout de modules de bilan d'azote et de développement de croissance et de développement du couvert végétal. Le développement du modèle s'est appuyé de surcroît sur deux autres modèles existants (Nferti, développé par ITK et Grapesim, modèle développé dans le projet FUI NV2) et a bénéficié de la collaboration avec l'UMR LEPSE. GrapeSoil permet d'évaluer les conséquences de différentes stratégies d'enherbement (durée/ surface couverte) dans des parcelles viticoles de sols différents et ainsi d'évaluer la durabilité du levier enherbement comme levier d'arrêt de l'usage d'herbicides.

Implications pratiques, recommandations, réalisations pratiques, valorisation

Implications pratiques et recommandations

- Le projet indique des possibilités d'évolution très positives au plan des usages de PP et des impacts environnementaux des systèmes de production viticoles en prenant en compte la diversité des situations d'exploitations rencontrées à l'échelle d'un territoire. Les évolutions proposées par les acteurs de terrain correspondent essentiellement à des ajustements des systèmes de culture, sans rupture généralisée dans la conception des systèmes. Ils ne remettent pas en cause la durabilité des exploitations. Leur capacité d'adoption semble donc potentiellement bonne, mais suppose toutefois la mise en place d'une dynamique locale appuyée par de l'animation collective, de l'accompagnement technique et des aides à la formation et à l'équipement spécifiques. Le dispositif contractuel des MAEC apparaît peu adapté aux acteurs car trop rigide et ne permettant pas de flexibilité suffisante en fonction des conditions locales d'exploitation et de la variabilité de pression des bioagresseurs.
- Le projet montre que les stratégies de réduction d'usage co-conçues, bien que positives, ne seront probablement pas suffisantes à terme pour permettre le respect de toutes les normes environnementales actuelles, notamment en matière de contamination des ressources en eau. Un effort de réduction des PP encore plus important est donc à étudier avec les acteurs de terrain. Cela peut être opéré en mobilisant des leviers de réduction complémentaires (investissement généralisé dans des moyens de pulvérisation limitant la dérive) ou en généralisant à des systèmes de production en réelle rupture avec les précédents (systèmes en AB ou agroécologiques). Cela imposera toutefois de prendre en

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

compte les possibilités d'évolution du contexte économique et de soutenir des investissements conséquents, ce qui n'a pas été considéré dans ce projet.

- Sur la problématique controversée de l'exposition aux PP des riverains de zones viticoles, l'adoption de pratiques spécifiques de protection phytosanitaire permettant une limitation des risques d'exposition semble acceptable par les viticulteurs.
- L'analyse environnementale effectuée permet d'anticiper certains impacts environnementaux potentiels des substances en cours d'usage. Ces impacts ne sont pas observables à ce jour, soit en raison des limites inhérentes aux réseaux d'observation, soit parce qu'ils ne seront apparents que par effet cumulatif à long terme de la dispersion des substances dans l'environnement.
- En climat méditerranéen, les estimations d'impact environnemental des pratiques phytosanitaires montrent la nécessité d'une approche pluriannuelle pour éviter un biais d'évaluation lié à la forte variabilité climatique interannuelle. Les approches de modélisation développées dans le projet permettent cela.

Limites ou généralisations éventuelles des résultats :

- Représentativité de la typologie d'exploitations et des stratégies d'évolution co-conçues:
 - ◆ Le bassin du Rieutort est représentatif de la région viticole du Languedoc avec une variété de types de sols et de climats (plus ou moins secs et chauds). Il présente également une diversité de types d'exploitation, correspondant bien à la diversité observable dans l'Hérault (notamment en termes de surfaces des exploitations et modes de production). La typologie d'exploitations étudiées apparaît ainsi représentative, avec toutefois un manque d'exploitations mettant en œuvre l'irrigation (peu présentes sur le bassin).
 - ◆ Concernant les stratégies d'évolution co-conçues, notre objectif était de stimuler la réflexion des joueurs, et non de construire des "paquets techniques" ou options fixes à recommander en tant que telles. Il en ressort une diversité de stratégies qui illustre la diversité des objectifs, prises de risques et possibilités techniques de différents viticulteurs. Deux limites dans la conception des stratégies peuvent toutefois être notées. L'une est que le jeu sérieux a plutôt conduit à réfléchir à des changements d'itinéraires techniques qu'à des changements du système de production qui nécessitent une réflexion sur à plus long terme. L'autre limite a été la difficulté de mobiliser des leviers territoriaux (ex. mosaïque de pratiques pensées à l'échelle du paysage, gestion paysagère d'infrastructures tampons). Ceci peut être lié à plusieurs raisons (1) la vigne est une culture pérenne, et les changements sont donc longs à mettre en jeu ; (2) le territoire viticole n'est pas, à l'heure actuelle, une échelle de gestion. En effet, l'agriculteur décide de ses pratiques à l'échelle de son exploitation, sans coordination avec ses voisins. Un gestionnaire territorial serait nécessaire pour penser des changements de pratiques coordonnés, sous réserve de disposer d'un pouvoir de gestion (contraintes, subventions), stimulant en particulier les solutions collectives.
- Limites des évaluations environnementales menées
 - ◆ Les évaluations d'impacts sur les compartiments sol et eau n'ont porté que sur les molécules mères. Pour le compartiment eau, il faut signaler de surcroît que les impacts n'ont été évalués que pour les substances en solution. Les impacts estimés sont donc partiels. Pour compléter l'étude des impacts, des développements complémentaires devront être effectués sur la modélisation en ce qui concerne la simulation des métabolites et du transfert hydrologique particulière des pesticides.
 - ◆ L'évaluation de l'exposition humaine a été réalisée sur le cas fictif d'un passant présent à chaque traitement sur une saison culturale. Ce cas n'est bien évidemment pas représentatif de la situation d'exposition d'un riverain. Il en découle que l'évaluation réalisée permet de comparer les stratégies en termes d'exposition humaine, mais ne permet pas de quantifier le niveau du risque en absolu pour la santé

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

humaine de riverains. De surcroît, seule l'exposition à la dérive de pulvérisation a été estimée à ce stade, alors qu'il faudrait aussi prendre en compte l'exposition aux quantités de substances en phase gazeuse volatilisées et dispersées depuis la parcelle traitée.

Réalisations pratiques et valorisation

- **Production de fiches pratiques** : les résultats du projet Ripp-Viti ont été synthétisés sous forme de fiches, afin de faciliter l'appropriation des résultats du projet par les professionnels (viticulteurs, conseillers techniques, animateurs de collectif...). Les fiches sont disponibles en ligne <https://vignevin.github.io/ripp/>. L'ensemble est constitué de deux types de fiches :
 - ◆ les fiches "Leviers" décrivent les intérêts agronomiques et environnementaux de chaque levier de réduction d'usage des PP proposés dans le jeu sérieux.
 - ◆ les fiches "Exploitations" détaillent et évaluent les combinaisons de leviers proposées lors du jeu sérieux pour chaque exploitation type du bassin versant. Les professionnels peuvent ainsi consulter la fiche de l'exploitation la plus proche de la leur et s'approprier les résultats, tout en se référant aux fiches leviers pour plus d'information.
- **Le jeu sérieux** produit par Ripp-Viti. Sa valorisation est envisagée pour l'accompagnement de groupes de viticulteurs à la réduction de l'usage des PP (ex. groupe 30 000). Ceci nécessite cependant des modifications du jeu, en particulier son adaptation à d'autres situations (changement des types d'exploitation et des stratégies fongiques), sa ludification (création d'artefacts) et la création de situations d'accompagnement. Pour cela, l'UMR Innovation a répondu, avec la CRA Occitanie, en mars 2024 à l'appel à projet Pré-maturation d'INRAE.
- **L'outil d'analyse multicritère DEXiPM Vigne** est libre et disponible à la diffusion sur demande auprès de l'UMR ABSys (A. Metay et R. Métral). Un appui à la mise en œuvre (collecte de données initiales, identification des valeurs seuils pour attribution des notes, éventuellement modification des pondérations selon avis des experts) est possible sur demande pour les partenaires et projets des acteurs de la filière vigne et vin (ex. Chambres d'agriculture, IFV).
- **La version V1 du modèle MIPP**, développée au sein de la plateforme de modélisation OpenFLUID (<https://www.openfluid-project.org/>), sera rendue disponible auprès de la communauté scientifique, après vérifications complémentaires de sa stabilité numérique.
- Le **modèle GrapeSoil eau x azote x couvert x vigne**, développé sous forme de packages R, sera rendu disponible (code et publication associée) auprès de la communauté scientifique, après évaluation de sa qualité prédictive et définition de son domaine de validité.

Partenariats mis en place, projetés, envisagés

L'exécution du projet a rassemblé 5 unités INRAE et Institut Agro (AbSys, EcoSys, Innovation, ITAP, LISAH) ainsi que l'Institut Français de la Vigne et du Vin et l'EPTB de la vallée Orb et Libron. La CRA Occitanie, Captage d'Eauccitanie et l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse ont participé au comité de pilotage du projet. Des implications complémentaires de CA34, AOP Languedoc, Cave coopérative de Murviel les Béziers ont eu lieu dans le cadre de l'approche participative menée durant le projet.

Plusieurs suites au projet RIPP sont déjà en route ou envisagées :

- **Partenariat avec EPTB Orb&Libron** pour restitution du projet et débat avec les acteurs du bassin du Rieutort (viticulteurs, autorités publiques, cave coopérative..) et les experts déjà mobilisés : action en cours d'élaboration et envisagée pour l'été 2024.

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

- **Partenariat avec la CRA Occitanie, et en discussion avec CA34, pour la valorisation du jeu sérieux** (soumis à appel à projet INRAE Pré-maturation 2024). La FREDON participera au comité de pilotage de ce projet.
- **Extension du partenariat des UMR LISAH, ECOSYS et ITAP à l'OFB et à des collaborations UE** pour appliquer le modèle MIPP à l'analyse du rôle des infrastructures agro-écologiques (haies, fossés) pour limiter l'exposition d'organismes et de milieux non cibles à l'échelle du paysage (projet OFB GREET) et à la conception d'un scénario viticole dans le cadre de nouvelles procédures européennes d'évaluation des risques environnementaux (projet UE Horizon PARC).
- **Partenariat avec Captage d'Eauccitanie**, qui anime le réseau des animateurs de captages de la région Occitanie, pour construire une formation sur les processus de transferts de pollution diffuses sur les aires d'alimentation de captages basée sur les résultats de RIPP-Viti.
- Partenariat envisagé avec l'AOP Saint Chinian et la cave coopérative du Rieutort dans le cadre de la thèse d'Emma Crouzet sur la réduction des fongicides en viticulture à l'échelle territoriale (dir. L. Hossard, co-encadrants S. Penvern, UMR Innovation, et M. Thiollet-Scholtus, UMR LAE - financement INRAE département ACT et projet PPR Be-Creative).

Pour en savoir plus (quelques références)

- Fiches pratiques issues du projet Ripp-Viti : <https://vignevin.github.io/ripp/>
- Les textes de la restitution du projet RIPP-viti à la Journée scientifique de la vigne et du vin à l'institut Agro à Montpellier, 7 mars 2024 destinée aux professionnels, étudiant.e.s et scientifiques de la filière (voir textes en annexe du rapport):
 - Voltz et al. Ripp-Viti: un projet ECOPHYTO pour réfléchir à la réduction d'usage et d'impact des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale. (<https://hal.inrae.fr/hal-04504840v1>).
 - Hossard et al.. Des stratégies de réduction des usages et impacts des pesticides conçues à l'aide d'un jeu sérieux. (<https://hal.inrae.fr/hal-04494804>)
 - Dagès et al. Evaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles. (<https://hal.inrae.fr/hal-04505443>)
 - Bedos et al. Evaluation de l'exposition humaine à la dérive de pulvérisation à la proximité de parcelles viticoles (<https://hal.inrae.fr/hal-04509768>)
 - Metral et al. DEXiPM Vigne®, un outil pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture viticoles (<https://hal.inrae.fr/hal-04510189>)
- Références citées autres que celles propres au projet

AERMC, 2007. Pesticides dans les eaux superficielles et souterraines des bassins Rhône-Méditerranée et de Corse. Données 2006-2007. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, Lyon, 20 pages

AERMC, 2022. L'état des eaux des bassins Rhône-Méditerranée et de Corse. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, Eaux&Connaissances, 42 pages. <https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2022-11/rapportetatdeseaux-situation2022.pdf>

Agreste, 2019. Enquêtes Pratiques phytosanitaires en viticulture en 2016. Agreste, les Dossiers n°2019-2.

Agreste, 2021. Enquêtes Pratiques phytosanitaires en viticulture en 2019. Agreste, Chiffres et Données, n°19.

ANSES, 2017, Proposition de modalités pour une surveillance des pesticides dans l'air ambiant, rapport d'expertise collective. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2014SA0200Ra.pdf>

Biarnès, A., Andrieux, P., Barbier, J.M., Bonnefoy, A., Compagnone, C., Delpuech, X., Gary, C., Metay, A., Rellier, J.-P., Voltz, M. 2017. Evaluer par modélisation des stratégies de réduction des usages d'herbicides dans les bassins versants viticoles. Innovations Agronomiques 57, 1-11.

CAN Dephy (Cellule d'Animation nationale DEPHY Ecophyto) 2023. Synthèse nationale des données DEPHY Ferme Viticulture sur la période 2017-2020, 62 pages. (consulté le 13/02/24 à <https://ecophytopic.fr/dephy/proteger/synthese-nationale-des-donnees-dephy-ferme-viticulture>)

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

CE Ecophyto (Commission d'enquête sur les causes de l'incapacité de la France à atteindre les objectifs des plans successifs de maîtrise des impacts des produits phytosanitaires sur la santé humaine et environnementale et notamment sur les conditions de l'exercice des missions des autorités publiques en charge de la sécurité sanitaire), 2023. Assemblée Nationale, Rapport d'enquête 2000 Tome 1, 407p.

Gary C.C., Metral R., Dubuc M., Fortino G., et Hofmann C. 2015. DEXiPM grapevine, a multiple criteria model for sustainability assessment of grapevine crop protection strategies. Dans : IPM Innovation in Europe [En ligne]. Disponible sur : < <https://hal.inrae.fr/hal-02743912> > (Consulté le 21 février 2024).

Kuhfuss, L. And Subervie, J., 2018 Do European Agri-environment measures help reduce herbicide use? Evidence from viticulture in France. *Ecological Economics*. Volume 149, pp 202-211.

Metral, Raphaël, Morgane Dubuc, Laurent Deliere, David Lafond, Morgane Petitgenet, et Christian Gary. 2015. « Dexipm-Grapevine : a multicriteria assessment tool of the sustainability for grapevine farming systems ». In 19. Journées Internationales de Viticulture GIESCO, 810 p. Comptes-rendus GIESCO. Gruissan, France. <https://hal.science/hal-01506482>.

Pelzer E., Fortino G., Bockstaller C., Angevin F., Lamine C., Moonen C., Vasileiadis V., Guérin D., Guichard L., Reau R., et Messéan A. 2012. Assessing innovative cropping systems with DEXiPM, a qualitative multi-criteria assessment tool derived from DEXi. *Ecological Indicators*. 18, p. 171-182.

Raherison, C., Baldi, I., Pouquet, M., Berteaud, E., Moesch, C., Bouvier, G., Canal-Raffin, M., 2019. Pesticides Exposure by Air in Vineyard Rural Area and Respiratory Health in Children: A pilot study. *Environmental Research* 169, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.002>

Sellam, M., Bedos, C., Douzals, J.P., Grimbuhler, S., Hubedine, Y., Loubet, B., Naud, O., Pasquier, D., Perriot, B., Verges, A., Verpont, F., 2023. Projet CAPRIV : Concilier application des produits phytopharmaceutiques et protection des résidents et personnes présentes. Rapport du projet Casdar CAPRIV, 200 p.

SOeS-CGDD, 2014. L'Environnement en France- Edition 2014. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Service d'observation et des Statistiques, Paris, 384 pages.

Liste des opérations de valorisations issues du contrat (articles de valorisation, participation à des colloques, enseignement et formation, communication, expertises...)

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES	
Publications scientifiques parues	<p>Hossard, L., Schneider, C., Voltz, M. (2022). A role-playing game to stimulate thinking about vineyard management practices to limit pesticide use and impacts. <i>J. Cleaner Prod.</i>, 380 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134913</p> <p>Djourhi, M., Loubet, B., Bedos, C., Dages, C., Douzals, J.P., Voltz, M. (2023). ADDI-SprayDrift: A comprehensive model for simulating aerial pesticide spray drift at field scale. <i>Biosystems Engineering</i>, 231, 57-77. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.05.008.</p> <p>Dages, C., Voltz, M., Bailly, J.-S., Crevoisier, D., Dollinger, J., Margoum, C. (2023). PITCH: a model simulating the transfer and retention of pesticides in infiltrating ditch and channel networks for management design purposes. <i>STOTEN</i>, 891, http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164602</p>
Publications scientifiques à paraître	
Publications scientifiques prévues	<p>Dages et al. An evaluation of environmental impacts of pesticide use in a Mediterranean vineyard catchment.</p> <p>Bedos C. et al. Exposure simulation of bystanders to pesticide spraying in Mediterranean vineyards</p> <p>Metral et al. Evaluation of the sustainability of pesticide use reduction in Mediterranean vine growing farms.</p>

	<p>Loubet et al. Evaluation of ADDISprayDrift model for simulating aerial and sedimentary drift.</p> <p>Personne et al. Evaluation of energy budget and volatilization flux in vineyards conditions.</p> <p>Decuq et al. Measurements of volatilization flux of fungicide applied in vineyards.</p>
<p>COLLOQUES</p> <p>Participations passées à des colloques</p>	<p>Djoughri M., Loubet B., Bedos C., Dagès C., Douzals J. P., Voltz M. (2022). A comprehensive model for simulating aerial pesticide spray drift at the field scale, and its application in vineyard. Presented at : York Conference "Behaviour of Pesticides in Air, Soil and Water", York, Royaume-Uni, 31st August-1st September 2022 (Prix de la meilleure communication).</p> <p>Voltz M., Dagès C., Hossard, L. Metay, A. Bedos, C. Fernandez-Mena, H. Grimbuhler, S. 2022. Building sustainable cropping and landscape management strategies to limit pesticide pollution risks in Mediterranean vineyards: The Ripp-Viti project. European Scientific Conference - Towards Pesticide Free Agriculture. 2-3 juin 2022, Dijon, France.</p> <p>Voltz M., Dagès C., Hossard, L. Metay, A. Bedos, C. Fernandez-Mena, H. Grimbuhler, S. 2022. Building sustainable cropping and landscape management strategies to limit pesticide pollution risks in Mediterranean vineyards: The Ripp-Viti project. 24st International Fresenius AGRO Conference "Behaviour of Pesticides in Air, Soil and Water", 8-9 juin 2022, Mainz, Allemagne.</p> <p>L. Hossard, C. Schneider, M. Voltz. Des stratégies de réduction des usages et impacts des pesticides co-conçues à l'aide d'un jeu sérieux. 15. Journée Scientifique de la Vigne et du Vin, Institut Agro Montpellier; Mars 2024, Montpellier, France.</p> <p>M. Voltz, C. Dagès, L. Hossard, A. Metay, C. Bedos, et al.. Ripp-Viti: un projet ECOPHYTO pour réfléchir à la réduction d'usage et d'impact des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale. 15ème Journée Scientifique Vigne et Vin, Institut Agro, Montpellier, 2024.</p> <p>C. Dagès, M. Voltz, D. Crevoisier, C. Bedos, N. Beudez, et al.. Evaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles. 15ème Journée Scientifique de la Vigne et du Vin, Institut Agro, Montpellier, 2024.</p> <p>C. Bedos, D. Crevoisier, C. Dagès, J.P. Douzals, M Voltz, et al.. Evaluation de l'exposition humaine à la dérive de pulvérisation à la proximité de parcelles viticoles. Journée scientifique vigne et vin. 15ème édition, Mars 2024, Montpellier, France.</p> <p>R. Métral, C. Schneider, R. De Lange, A. Metay. DEXiPM Vigne®, un outil pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture viticoles Journée scientifique vigne et vin. 15ème édition, 7 Mars 2024, Montpellier, France.</p> <p>Voltz M., Delpuech X. Les enseignements et livrables du projet Ecophyto RIPP-Viti. Journée scientifique vigne et vin. 15ème édition, 7 Mars 2024, Montpellier, France.</p>
<p>Participations futures à des colloques</p>	<p>2 présentations orales soumises au XVII Symposium on Pesticide Chemistry, Piacenza, 4-6 septembre 2024. (Dagès et al., Voltz et al.)</p> <p>3 présentations orales soumises au 52ème Congrès du Groupe Français de recherche sur les Pesticides à Lyon, 22-24 mai 2024. (Bedos et al., Dagès et al., Voltz et al.)</p>

<p>THÈSES</p> <p>Thèses passées</p> <p>Thèses en cours</p>	<p>1 présentation orale soumise au congrès européen d'agronomie à Rennes, août 2024. DEXiPM Grapevine®: Evaluating Sustainability in Codesigned Farming Systems in a Vineyard Watershed. (Raphaël Métral, Aurélie Metay, Claire Schneider, Rosan de Lange)</p> <p>Djourhi, M., 2022. Modélisation des processus de distribution et de dérive des pesticides lors de la pulvérisation et de leur contribution à l'exposition des passants : illustration en viticulture. Thèse de doctorat, Université de Montpellier, 170 pages.</p>
<p>ARTICLES DE VALORISATION/ VULGARISATION</p> <p>Articles de valorisation parus</p> <p>Articles de valorisation à paraître</p>	<p>Voltz, M., Dagès, C., Hossard, L., Metay, A., Bedos, C., Delpuech, X, Douzals, J.P. Ripp-Viti: un projet ECOPHYTO pour réfléchir à la réduction d'usage et d'impact des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale. JSVV Montpellier, 7 mars 2024. (https://hal.inrae.fr/hal-04504840)</p> <p>L. Hossard, C. Schneider, Marc Voltz. Des stratégies de réduction des usages et impacts des pesticides co-conçues à l'aide d'un jeu sérieux. 15. Journée Scientifique de la Vigne et du Vin, Institut Agro Montpellier; INRAE; Université de Montpellier, Mars 2024, Montpellier, France. pp.27-31. (hal-04494804)</p> <p>Delpuech, X, Voltz, M, Laure Hossard, Dagès, C. Metay, A. et al.. Fiches techniques du projet Ripp-Viti Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale. JSVV Montpellier, 7 mars 2024. (hal-04491653).</p> <p>C. Dagès, M. Voltz, D. Crevoisier, C. Bedos, N. Beudez, F. Lafolie, E. Personne, G. Coulouma, M. Djourhi, J.-P. Douzals, J.-C. Fabre, M. Faucher, C. Jean-Louis, B. Loubet, P. Lagacherie, L. Prévot, A. Thoni, F. Vinatier. Evaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles. 15ème Journée Scientifique de la Vigne et du Vin, 2024 https://hal.inrae.fr/hal-04505443</p> <p>C. Bedos, D. Crevoisier, C. Dagès, J.P. Douzals, M Voltz, et al.. Evaluation de l'exposition humaine à la dérive de pulvérisation à la proximité de parcelles viticoles. Journée scientifique vigne et vin. 15ème édition, Mar 2024, Montpellier, France. (hal-04509768)</p> <p>R. Métral, C. Schneider, R. De Lange, A. Metay. DEXiPM Vigne®, un outil pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture viticoles Journée scientifique vigne et vin. 15ème édition, 7 Mars 2024, Montpellier, France. (https://hal.inrae.fr/hal-04510189)</p>
<p>Articles de valorisation prévus</p>	<p>Article prévu courant 2024 dans la revue « Sauvons l'Eau » de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse.</p>
<p>AUTRES ACTIONS VERS LES MÉDIAS</p> <p>Actions vers les médias (interviews...) effectuées</p> <p>Actions vers les médias prévues</p>	<p>Article paru 12 mars 2024 dans la revue Vitisphère "Ils améliorent leur stratégie phyto en jouant à un jeu" (article écrit indépendamment par une journaliste ayant assisté à la restitution lors de la Journée Scientifique Vigne et Vin de l'institut Agro à Montpellier).</p>

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

<p>ENSEIGNEMENT/ FORMATION</p> <p>Enseignements/formations dispensés</p> <p>Enseignements/formations prévus</p> <p>EXPERTISES</p> <p>Expertises menées</p> <p>Expertises en cours</p> <p>Expertises prévues</p> <p>MÉTHODOLOGIES (GUIDES...)</p> <p>Méthodologies produites</p> <p>Méthodologies en cours d'élaboration</p> <p>Méthodologies prévues</p> <p>AUTRES</p>	<p>Journée de formation animateurs captages sur facteurs et processus de transferts des produits phytosanitaires vers les captages (prévue fin 2024 en collaboration avec Captages d'Eaucitanie)</p> <p>Les travaux de modélisation conduits dans RIPP-viti ont été cités dans l'état de l'art de l'expertise collective INRAE - Ifremer Pesticides et Biodiversité (S. Leenhardt, L. Mamy, S. Pesce, W. Sanchez, (2022). pour leur capacité à évaluer des leviers territoriaux de limitation des effets des pesticides</p>
<p>Mémoires d'étudiants</p>	<p>Capoglu, Y.S., 2020. Testing of a pesticide volatilisation model applied to a vineyard (Rapport de stage M2 CLUES). AgroParisTech, Université Paris-Saclay.</p> <p>Charlet, C., 2022, Evaluation du modèle MHYDAS-Pesticide sur une parcelle viticole de Puisserguier (34), mémoire de fin d'études, ENGEES, 89p.</p> <p>Doré, C., 2020, Évaluation des risques de contamination des eaux de surface par la dérive dans les fossés par une approche de modélisation, mémoire de fin d'études, ENGEES, ENTPE et INSA. 61p.</p> <p>Garsia A. 2021. Integrating the simulation of soil nitrogen balance and grapevine yield into the water balance model WaLIS for intercropped vineyards. Wageningen University, Organic Agriculture, MSc report, 68 p.).</p> <p>Jean-Louis, C., 2022, Modélisation hydrologique du devenir des pesticides dans le bassin versant viticole du Rieutort. Mémoire de stage de Master 2 Eau et Agriculture, AgroParisTech, Institut Agro, Université de Montpellier, 57p.</p> <p>Tobias, M., 2021, Estimation d'indicateurs territoriaux d'usage et d'écotoxicité des pesticides sur le bassin versant viticole du Rieutort (affluent de l'Orb, Hérault), mémoire de stage de Master 1 Eau et Agriculture, AgroParisTech, Institut Agro, Univ. de Montpellier, 53p.</p> <p>Schneider C. 2020. Caractérisation de l'usage des produits phytosanitaires, des leviers de réduction et de leurs déterminants dans un bassin viticole. Mémoire de fin d'études, Ingénieur agronome, parcours Ressources, Systèmes Agricoles et Développement, Montpellier SupAgro.</p>

Résumés

■ Résumé court

Le projet RIPP-Viti a visé l'élaboration de stratégies durables de réduction des usages et impacts des produits phytosanitaires à l'échelle d'un territoire viticole méditerranéen. Il a développé une approche participative par jeu sérieux et des outils de modélisation pour la conception et l'évaluation de telles stratégies. Leur application a montré la possibilité d'une diminution d'IFT de 39% à l'échelle de l'ensemble d'un territoire.

■ Résumé long

● Contexte général et enjeux scientifiques et techniques

Le plan Ecophyto, établi par le gouvernement en 2008, à la suite du Grenelle de l'Environnement en 2007, ambitionne une baisse de 50% de l'utilisation des produits phytosanitaires (PP) en France. Le secteur viticole est concerné, car malgré les différentes incitations à réduire l'usage des PP, il reste très consommateur en PP, avec un IFT moyen de 15,3 en 2016 et de 12,4 en 2019 à l'échelle nationale. La possibilité opérationnelle de stratégies de réduction des usages est montrée par le réseau des fermes Dephy. La synthèse récente des données de ce réseau pour les fermes viticoles (C.A.N. Dephy, 2023) montre en effet qu'entre l'état initial des fermes et la moyenne des campagnes 2018 à 2020, une baisse moyenne de 24% de l'IFT hors biocontrôle est observée sans qu'il y ait d'impact négatif sur la maîtrise des bioagresseurs. Ces résultats encourageants sont toutefois obtenus à l'échelle d'un réseau d'exploitations volontaires. Ils ne peuvent donc pas directement présager d'évolutions potentielles pour l'ensemble des exploitations d'un territoire, dont la diversité des modes de production viticole peut différer de celles des exploitations DEPHY. De surcroît les résultats des fermes DEPHY ne concernent que la réduction d'usage des PP et n'établissent pas de lien avec une réduction des impacts environnementaux et sanitaires des usages.

Les enjeux scientifiques sont donc de développer i) des approches d'élaboration de stratégies de réduction des impacts qui concernent l'ensemble d'un territoire et ii) des méthodes d'objectivation du lien entre réduction d'usage et réduction d'impact sur les différents compartiments environnementaux à cette échelle.

● Objectifs

Le projet RIPP-Viti a visé l'élaboration et l'évaluation de stratégies de réduction des usages des PP mais aussi des impacts des usages à l'échelle d'un territoire viticole méditerranéen. L'hypothèse majeure du projet est qu'il est possible d'atteindre des objectifs significatifs de réduction d'impact des PP à l'échelle de tout un territoire en élaborant des stratégies de réduction adaptées aux contraintes parcellaires, d'exploitations et de filières présentes sur le territoire. Au plan méthodologique les objectifs du projet ont été de développer et/ou d'instancier

- une approche participative par jeu sérieux pour réfléchir à des stratégies de changements d'usage des PP pour une diversité de types d'exploitations viticoles
- des outils de modélisation numérique pour évaluer les impacts environnementaux de l'usage des PP sur les compartiments sol, air et eau à l'échelle d'un territoire viticole
- des outils d'analyse de la durabilité des exploitations viticoles et de l'effet des pratiques d'enherbement sur le rendement viticole

● Méthodologie en 3 étapes :

- Un diagnostic initial des exploitations viticoles existantes sur un site d'étude représentatif d'une large gamme des situations de production viticole que l'on peut rencontrer en zone languedocienne. Le bassin du Rieutort s'étend sur 45 km², dont 15,4 km² sont consacrés à la vigne. Il présente une grande diversité de terroirs viticoles (AOP Languedoc, Saint-Chinian et Faugères) et de modes de production (IGP, AOP en caves coopératives ou

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

particulières). Il représente une zone à enjeu au plan de l'impact des usages de PP car il fait partie du bassin d'alimentation d'un captage classé dans la liste des captages Grenelle menacés par les pollutions diffuses.

- Une approche participative pour réfléchir et élaborer des stratégies de réduction des usages et impacts des PP adaptées aux différents types d'exploitation viticoles en fonction de leurs contraintes spécifiques. L'approche a été menée à l'aide d'un jeu sérieux développé dans le projet. Pour concevoir les stratégies, les joueurs pouvaient i) combiner et moduler des leviers de réduction d'usage à l'échelle parcellaire, ii) implanter des zones tampons, iii) réfléchir à des leviers collectifs.
- Une évaluation approfondie des stratégies élaborées aux plans de la durabilité des exploitations et des impacts environnementaux. Cette étape a fait l'objet de nombreux développements méthodologiques. Elle a permis de mesurer si les réductions d'usage des PP posent des problèmes de durabilité des exploitations et si les réductions d'usage co-conçues sont suffisantes au plan environnemental.

- Principaux résultats obtenus

- **Des stratégies co-conçues d'évolution des pratiques viticoles permettant une réduction d'usage à l'échelle d'un territoire.** Ces stratégies explorent les leviers mobilisables localement, de manière individuelle et collective, en fonction de la diversité de contraintes d'un territoire viticole. Elles permettent d'envisager une réduction de 39% de l'IFT hors produits de biocontrôle. L'évaluation menée selon l'approche multicritère DEXiPM montre une amélioration systématique de la durabilité environnementale et dans certains cas également des durabilités sociales et économiques.
- **Une évaluation approfondie des impacts environnementaux des stratégies co-conçues.** La réduction d'impact sur les ressources aquatiques est forte mais apparaît insuffisante au regard des normes environnementales. L'impact sur les organismes du sol ne diminue pas mais est modéré. Pour l'exposition humaine par dérive aérienne, la possibilité d'adapter des stratégies de protection phytosanitaire sur les parcelles proches de lieux de vie est montrée.
- **De nouveaux outils opérationnels et de recherche** pour la réflexion et l'évaluation de stratégies de réduction des usages et des impacts des PP : i) Un jeu sérieux pour la réflexion et la conception de stratégies de réduction des impacts des PP, ii) un modèle mécaniste original MIPP pour simuler le devenir des pesticides à l'échelle d'un paysage viticole, iii) un modèle de bilans hydrique et azoté de vignes enherbées.

- Sorties opérationnelles pour décideurs, applications éventuelles

- **Un ensemble de fiches pratiques** synthétisant les résultats du projet Ripp-Viti afin de faciliter l'appropriation des résultats du projet par les professionnels (viticulteurs, conseillers techniques, animateurs de collectif...)(voir <https://vignevin.github.io/ripp/>)
- **Le jeu sérieux développé ainsi que l'analyse multicritère de la durabilité d'exploitations viticoles** sont mis à disposition de la filière viticole. Les approches de modélisation seront diffusées à la communauté académique.

- Recommandations

- Issues d'une approche participative, les stratégies co-conçues indiquent des possibilités d'évolutions très positives au plan des usages de PP des systèmes de production viticoles à l'échelle d'un territoire. Leur capacité d'adoption semble potentiellement bonne, mais suppose la mise en place d'une dynamique locale appuyée par de l'animation collective, de l'accompagnement technique et des aides.
- Le projet montre que les stratégies de réduction d'usage co-conçues, bien que positives, ne seront probablement pas suffisantes pour permettre le respect de toutes les normes environnementales en cours, notamment en matière de contamination des ressources en

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

eau. Des leviers de réduction complémentaires (pulvérisateurs limitant la dérive) ou généralisation de systèmes en AB ou agroécologiques sont à envisager.

- Sur la problématique de l'exposition aux PP des riverains de zones viticoles, l'adoption de pratiques spécifiques de protection phytosanitaire limitant les risques d'exposition semble acceptable par les viticulteurs.
- La démarche d'analyse environnementale menée permet d'anticiper les impacts environnementaux potentiels des substances en cours d'usage. Ces impacts ne sont pas toujours observables à ce jour car liés à des effets cumulatifs dans le temps.

■ Mots-clés: Viticulture, produits phytosanitaires, approche participative, impacts environnementaux, exposition humaine, modélisation, bassin versant

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale



RAPPORT SCIENTIFIQUE

RIPP-VITI

Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale

APR « Leviers territoriaux pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits phytopharmaceutiques »
Rapport scientifique
[M Voltz, C. Dagès, L. Hossard, A. Metay, C. Bedos, X. Delpuech, J.-P. Douzals]
Date de la version du rapport : 28/03/ 2024

Coordonnées du laboratoire

UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 2 place Pierre Viala, F-34060 Montpellier, France

Identité et coordinateur du projet de recherche : Marc Voltz UMR LISAH marc.voltz@inrae.fr

Action pilotée par les Ministères chargés de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Santé et de la Prévention, (MSP), et de la l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français pour la Biodiversité (OFB), par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au plan Écophyto II+

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

Dans cette note scientifique nous ne présentons que les éléments méthodologiques relatifs aux approches et méthodes mises en œuvre dans le cadre du projet RIPP-viti. Pour les enjeux, objectifs, site d'étude, résultats principaux du projet, le lecteur est invité à lire la synthèse destinée aux utilisateurs et gestionnaires publics. Dans la suite, nous détaillons les principes, et modalités d'application des approches suivantes :

1. L'approche participative par jeu sérieux menée dans le cas du bassin du Rieutort pour l'élaboration de stratégies de réduction d'usage des PP à l'échelle territoriale
2. L'analyse multicritère DEXiPM vigne appliquée à l'évaluation de la durabilité des exploitations viticoles sur le bassin du Rieutort
3. L'évaluation comparative des impacts de stratégies co-conçues de réduction d'usage des PP par application du modèle MIPP de devenir des PP en paysage agricole
4. La modélisation de l'impact de l'enherbement sur les bilans hydrique et azoté de la vigne

Des compléments tant sur les résultats que sur les méthodologies appliquées sont disponibles en annexe.

Eléments méthodologiques relatifs à l'approche participative par jeu sérieux

Pour réfléchir aux stratégies de changement, nous avons construit et mis en œuvre un jeu sérieux avec différents acteurs (viticulteurs, représentants d'AOP, de coopératives, de l'IFV, de Chambres d'Agriculture, EPTB Orb&Libron, DRAAF, FREDON, Agence de l'Eau).

Nous nous sommes basés sur un territoire réel, le bassin versant du Rieutort, au Nord de Béziers. Ce territoire permet de représenter la diversité des exploitations du vignoble languedocien : vignes en côteaux vs. en plaine, production en IGP vs. AOP (Saint-Chinian et Faugères), en cave particulière vs. coopérative, que nous avons regroupées en plusieurs types d'exploitation (voir Hossard et al., 2022 pour plus de détails).

Le jeu se compose de sept éléments (Fig. 1) : (1) la description des exploitations agricoles, (2) la description des leviers de changement potentiels pour chaque exploitation, (3) une fiche de choix de changement pour chaque type d'exploitation et pour chacun des groupes de parcelles de l'exploitation, (4) une représentation simplifiée du bassin versant, (5) des panneaux d'information sur les processus et les leviers d'action, (6) des informations complémentaires (ex. météo), et (7) un calculateur permettant d'évaluer, à l'échelle des exploitations et du bassin versant, les impacts potentiels des changements de pratiques (avec des indicateurs d'usage comme l'IFT, et d'impacts potentiels sur les opérateurs, les pollinisateurs, les organismes aquatiques, etc.). Dans le jeu, 5 à 6 joueurs sont des viticulteurs ; 1 à 2 joueurs sont des "gestionnaires", pouvant mobiliser des actions incitatives (ex. subventions à certaines pratiques ou matériels, formation, mise en place de collectifs de travail) ou contraignantes (achat de foncier, interdiction de certaines molécules, obligation de pratiques comme des haies ou l'enherbement des tournières). Ce joueur agit, par des discussions, entre les 2 tours du jeu : il discute avec les joueurs agriculteurs sur la base des simulations (Figure 1-6) des effets des changements de pratiques, pour inciter les joueurs viticulteurs à aller plus loin.

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

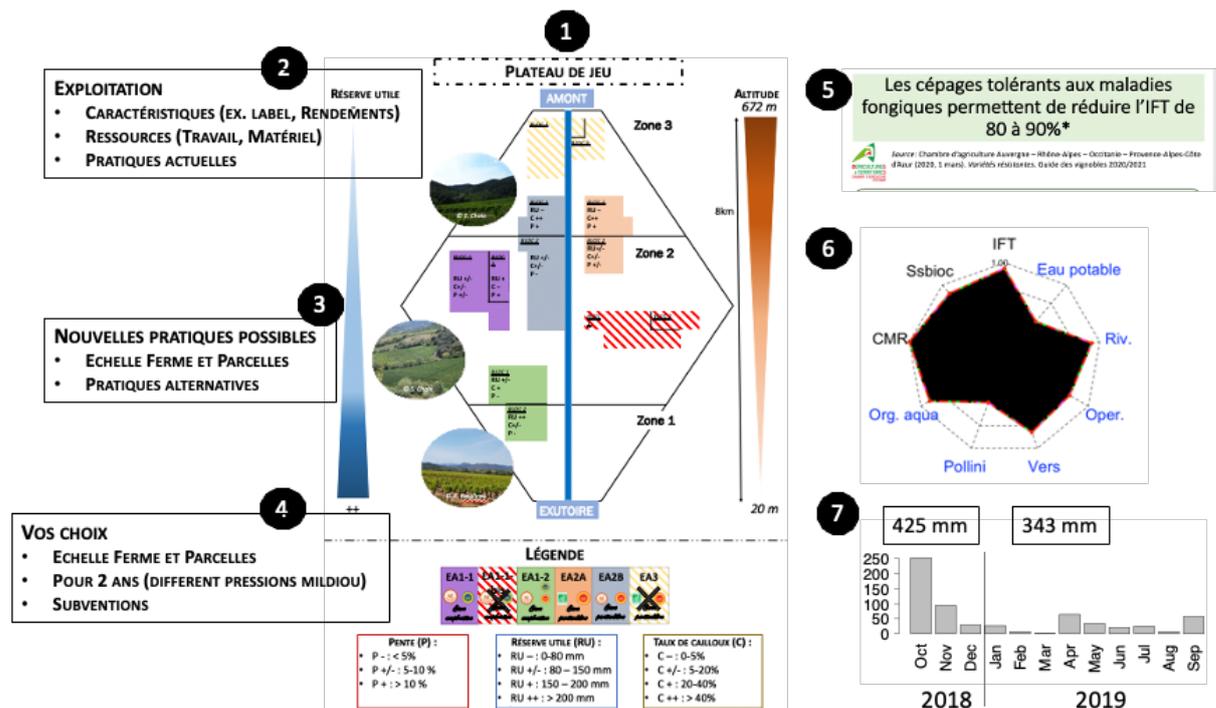


Figure 1. Aperçu des différentes composantes du jeu. IFT : Indicateur de Fréquence de traitement tot, Ssbio : IFT hors biocontrôle, CMR: IFT Cancérigène, Mutagène et Reprotoxique, Org. aqua : organismes aquatiques, Pollini : pollinisateurs, Vers : vers de terre, Ope. : opérateurs, Riv. : riverains.

Pour plus de réalisme local, nous avons décidé de jouer deux types d'années différentes, plus ou moins humides et donc plus ou moins favorables au mildiou. De même, une exploitation viticole étant composée de parcelles différentes, les joueurs devaient choisir des pratiques alternatives sur trois types de parcelles différentes : l'une proche d'habitations, les deux autres différentes par leurs types de sol, pente, réserve utile, etc. Dans le jeu, nous avons distingué quatre types d'exploitations viticoles : (1) HVE en coopérative 100% IGP ou mixte IGP-AOP (HVE-coop) ; (2) Agriculture Biologique en cave particulière en AOP Saint Chinian (Bio-Saint Chinian-part) ; (3) Sans label en cave particulière en AOP Saint Chinian (AOP-Saint Chinian-part) ; (4) Agriculture Biologique en cave particulière en AOP Faugères (Bio-Faugères-part). Ces exploitations types présentent des différences en termes d'objectifs de rendement, de tailles et de pratiques (ex. nombre de labours, pratiques phytosanitaires)

Les participants à cette étude (ex. viticulteurs, syndicat d'AOP, acteurs du conseil et de la réglementation) ont imaginé des leviers sélectionnables par les joueurs aux échelles de l'exploitation et des parcelles viticoles. A l'échelle de l'exploitation, les leviers portent sur les formations aux différents leviers (ex. réglages du pulvérisateur, intercep), sous condition d'investissement financier (ex. dans des buses anti-dérive ou des panneaux récupérateurs) et sur la gestion des fossés. Ces leviers sont communs à tous les types d'exploitation.

A l'échelle des parcelles, les leviers dépendent des cibles. Concernant les herbicides, les leviers portent sur la diminution du nombre de labours, sur la mise en place d'un enherbement permanent sur tout ou partie des inter-rangs, sur l'enherbement des tournières et sur la réduction ou l'arrêt du glyphosate sur et entre les rangs. Concernant les insecticides, un levier a été proposé : l'adhésion à un GDON (qui permet d'éviter un des traitements imposés contre la cicadelle), sous réserve d'accord avec un autre joueur. Concernant les fongicides, cinq modes de gestion alternatifs ont été construits, à partir des données du terrain et d'expérimentations en station. La 1ère alternative, basée sur Performance Vigne® (CA34), consiste à adopter un programme de traitement éliminant les CMR. La 2ème alternative, intitulée "Raisonné +", consiste à appliquer des règles de décision basées sur des

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

observations fines et la météo. La 3ème alternative vise le passage en Bio, avec le programme de traitement du type d'exploitation Bio-Saint Chinian-part. La 4ème alternative, intitulée "Bio+", mobilise des règles de décision basées sur des observations fines et la météo, en utilisant uniquement des fongicides autorisés en AB, et en favorisant les produits de biocontrôle. La 5ème alternative porte sur l'utilisation de cépages tolérants, ce qui réduit fortement le nombre de traitements. Pour la parcelle proche d'habitations, les joueurs viticulteurs peuvent décider de mettre en place une haie.

Tous ces leviers sont mobilisables par les exploitations HVE-coop et AOP-Saint Chinian-part. Seuls les leviers mieux disant que le bio (Bio+, GDON, enherbement, haie) sont possibles pour l'exploitation type Bio-Saint Chinian. A noter que certains leviers ouvrent droit à des subventions (ex. MAEC enherbement, Agriculture Biologique, 0 glyphosate).

Éléments méthodologiques relatifs à l'évaluation de la durabilité des systèmes viticoles

L'outil DEXiPM Grapevine (Gary et al., 2015) est un modèle d'évaluation multicritères des systèmes de culture utilisé pour évaluer la durabilité des systèmes de culture arable innovants à travers trois piliers : économique, social et environnemental. Il fonctionne sur la base d'un arbre détaillé et transparent qui agrège des informations simples (nombre d'interventions culturales, IFT, etc.) pour estimer des variables complexes (ressources utilisées, biodiversité de la faune, etc.). Entièrement qualitative, le modèle prend en compte le jugement d'experts (ses 65 entrées sont décrites par des classes qualitatives telles que faible, moyen, élevé, par exemple) à partir de données, numériques ou autres, converties en classes qualitatives. L'évaluation des entrées (ou "critères de base") ne nécessite aucune référence techno-économique particulière et n'utilise aucun modèle externe. Le modèle utilisé pour simuler nos stratégies a été adapté aux systèmes de vigne par Gary et al. (2015). Il est important d'utiliser une paramétrisation unique pour chaque région, donc la paramétrisation de la région du Languedoc est utilisée (ancienne Occitanie, mais toujours considérée comme une région en termes de production de vin). La nature qualitative de ce modèle permet l'évaluation de systèmes de culture innovants et virtuels (Vasileiadis et al., 2013). Pelzer et al. (2012) expliquent la conception du modèle (choix et hiérarchie des indicateurs de base et agrégés, choix des états qualitatifs pour les indicateurs, fonctions d'utilité/règles d'agrégation déterminant l'agrégation des indicateurs sur l'arbre et leur poids relatif).

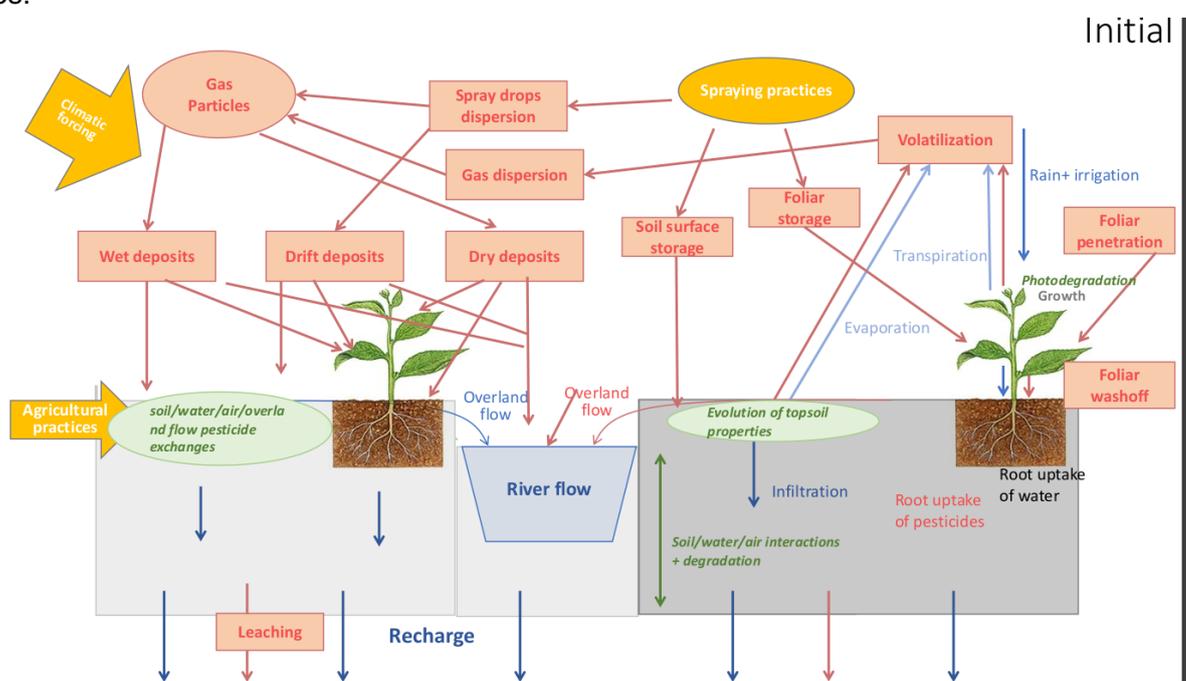
Nombre de simulations

Les stratégies co-conçues ont été simulées avec DEXiPM Grapevine pour évaluer la réduction de l'impact de chaque stratégie à l'échelle de l'exploitation et du bassin versant afin d'évaluer les changements de pratiques. Au total, 24 stratégies sont simulées. Pour éviter de simuler trop de stratégies souvent similaires, les plus ambitieuses par type d'exploitation et atelier du jeu ont été sélectionnées. La stratégie la plus ambitieuse entre les deux parcelles types des exploitations (hors parcelle avec riverain) est également sélectionnée, sauf si, en raison du contexte de l'un, une pratique n'est pas possible. Dans ce cas, la stratégie de la parcelle avec les facteurs limitants est choisie. Il est important de noter que certains groupes n'ont pas différencié leurs stratégies de réduction d'usage selon les parcelles types, ce qui signifie qu'il n'y a que deux simulations différentes par types d'exploitations pour ces groupes (années à faible pression ou forte pression de maladies fongiques). Certains groupes n'ont également pas différencié les années avec faible et forte pression de maladies mais dans DEXiPM Grapevine, la pression de la maladie affecte plusieurs attributs d'entrée même sans changement de pratique, ce qui signifie qu'il y a toujours différentes simulations pour chaque année.

Éléments méthodologiques relatifs à la modélisation environnementale des impacts de l'usage des PP sur les compartiments air, sol et eau à l'échelle d'un territoire

Principes et évaluations du modèle MIPP

Le modèle MIPP a été initié dès 2013 par plusieurs UMR d'INRAE (Voltz et al., 2017) afin de pallier le manque d'outils pour conduire une évaluation systémique des contaminations à l'échelle paysagère et de l'exposition des écosystèmes en lien avec les pratiques phytosanitaires. Le postulat initial était qu'une telle évaluation nécessite une approche de modélisation intégrée qui i) couple l'ensemble des processus de dispersion des composés dans l'environnement et ii) prenne en compte les éléments paysagers et anthropiques les contrôlant : les parcelles et pratiques agricoles associées, les infrastructures paysagères. MIPP a ainsi été développé de façon modulaire au sein de la plateforme de modélisation OpenFLUID pour s'appuyer sur des modélisations spécifiques, atmosphériques et hydrologiques existantes (ex. Volt'Air (Bedos et al., 2009 ; Surfalm (Personne et al., 2009)), Fides (Loubet et al., 2001), MHYDAS-Pesticides (Crevoisier et al., 2021), Pastis et SolVirtuel (Lafolie, 1991; Lafolie et al., 2014)). La figure 2 présente les principaux processus pris en compte dans MIPP. Ce modèle a été consolidé et adapté à la viticulture dans le cadre de ce projet. Il présente trois innovations principales par rapport aux modélisations actuelles d'évaluation des risques d'exposition environnementale aux pesticides. Une première innovation est de représenter les processus à l'échelle d'un paysage hétérogène en considérant les transferts latéraux. Une deuxième est le couplage approfondi de l'ensemble des processus de dispersion dans l'atmosphère, y compris au moment de l'application, et dans le sol et à sa surface. Une troisième innovation est la résolution spatiale détaillée, permettant la représentation des mosaïques de parcelles et d'infrastructures paysagères avec leurs relations topologiques, ainsi que la prise en compte des hétérogénéités intra-parcellaires fortes et de l'évolution des états de surface du sol en lien avec les pratiques culturales et la gestion des infrastructures. Les principales avancées du modèle réalisées dans ce projet sont décrites ci-après.



RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

En tant que voie d'apport et 1^{ère} possibilité de dispersion des pesticides dans les paysages, nous avons choisi de tenir compte de la dispersion et de l'interception du nuage de gouttelettes de matière active après la pulvérisation. Ceci est réalisé avec le modèle ADDI-SprayDrift (Djourhi et al., 2023), développé pour MIPP, qui englobe un certain nombre de processus clés identifiés dans la littérature : évaporation de l'eau de la gouttelette, état de stabilité de l'atmosphère, effets de la canopée sur les turbulences atmosphériques, dépôt au sol et interception. Une des originalités du modèle ADDI-SprayDrift est de prédire la distribution des pesticides lors de l'application entre le sol, le couvert traité, ici la vigne, et l'air, les dépôts au sol en dehors de la parcelle traitée ainsi que la concentration de gouttelettes dans l'atmosphère à un temps, distance et hauteur donnée. L'intégration de ce module dans MIPP offre la possibilité d'évaluer à la fois l'exposition des milieux et organismes non cibles comme celle des passants par voie cutanée et par inhalation.

Le modèle de devenir des pesticides au sein de la parcelle est au cœur du modèle intégré et a été revu en profondeur au cours du projet pour tenir compte de l'hétérogénéité à la parcelle apportée par la culture en rang de la vigne et par la coexistence de différentes modalités de gestion des sols des inter-rangs. La parcelle est virtuellement subdivisée en autant de motifs "rang/inter-rang" (R/IR) qu'il y a de modalités de gestion du sol telles que schématisées en Figure 3. Le modèle parcellaire repose sur le couplage des trois ensembles de modules suivants :

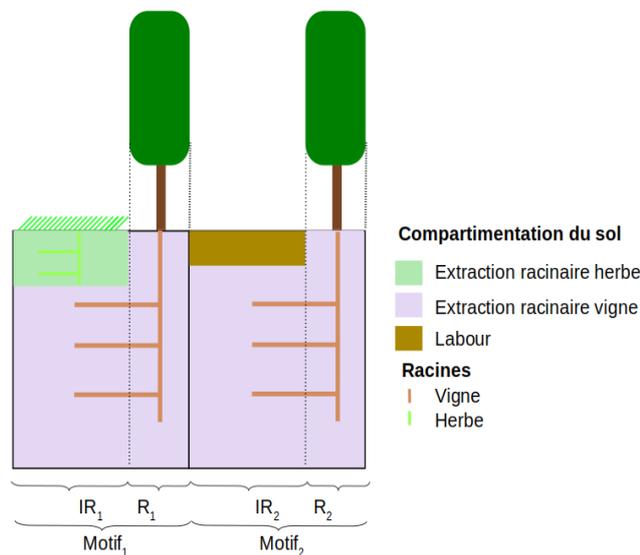


Figure 3: Représentation conceptuelle d'une parcelle de vigne partiellement enherbée.

- un module mécaniste du devenir des pesticides dans les sols. Il simule les transferts d'eau, de chaleur et de pesticides sous forme dissoute ou gazeuse en considérant un équilibre physico-chimique entre les 3 phases du sol (solide, liquide, gazeuse) et une dégradation de 1^{er} ordre. Le devenir des métabolites n'est pas simulé. La volatilisation est calculée à la fois depuis le sol et depuis les feuilles de vigne. Le module simule également l'export de pesticides dans les eaux de ruissellement en considérant un flux d'échange entre les eaux de ruissellement et la couche superficielle du sol, proportionnel au gradient de concentration des pesticides.
- un module de bilan d'énergie considérant les 3 types de surface du motif R/IR (sol nu, vigne, couvert herbacé se développant dans l'inter-rang) et la possibilité d'évolution de leur superficie relative. Le bilan est contraint par l'eau disponible dans le sol tel que simulé par le module "sol" et force en retour le bilan hydrique en estimant le flux d'évaporation de l'eau depuis le sol nu, de transpiration de la vigne et de transpiration du couvert herbacé.
- un module d'évolution des états de surface, qui inclut la simulation de la dynamique du couvert herbacé spontané dans l'inter-rang et d'évolution de la conductivité à saturation.

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

Une approche de type plurispécifique permet de simuler la germination, la croissance et la sénescence sous contrainte hydrique. La conductivité à saturation de l'inter-rang varie en fonction des actes techniques réalisées (labour), de la fermeture du sol sous l'effet de l'énergie cinétique de la pluie et de la couverture herbacée.

Le modèle MIPP a été évalué par partie, que ce soit directement sur des jeux de données expérimentales (ex. sur transpiration et évaporation d'une parcelle de vigne, sur la dérive sédimentaire, développement couvert herbacé) ou par analyse de la vraisemblance de son comportement à l'aide notamment d'analyses de sensibilité (ex. facteurs contrôlant la dérive, ruissellement/remobilisation, volatilisation). On peut en particulier noter la vérification de la pertinence des simulations de dispersion d'ADDI-SprayDrift en comparant les simulations aux mesures issues du projet CAPRIV pour le pulvérisateur pneumatique standard avec et sans buses anti-dérive (Sellam et al., 2023). Un bon accord a été trouvé que cela soit pour l'ordre de grandeur et la décroissance des dépôts au sol avec la distance à la parcelle traitée ou l'interception par les mannequins (en distinguant les bras et le torse). On peut aussi noter que les simulations MIPP de contamination des eaux de surface par les pesticides ont été corroborées par les observations quantitatives menées sur le bassin de Roujan (ORE OMERE) et par les observations qualitatives effectuées par capteurs passifs de 2021 à 2023 sur le bassin du Rieutort.

Principe de l'évaluation des impacts environnementaux et de l'exposition de passants

Le risque d'exposition a été évalué par simulation MIPP pour les organismes du sol, les organismes aquatiques et les passants à proximité de parcelles viticoles. L'évaluation du risque d'exposition par les pesticides repose sur la comparaison des teneurs environnementales en pesticides à une teneur sans effet biologique, qui dépend à la fois de la molécule et de l'organisme. Les teneurs sans effet sont en général obtenues au laboratoire et peuvent correspondre par exemple à la teneur limite en-dessous de laquelle il n'y a pas d'effet observable sur la fonction de reproduction d'un organisme. Le risque d'exposition est calculé à partir du ratio entre la teneur environnementale et la teneur sans effet biologique, classiquement nommé "risk quotient" (RQ) en écotoxicologie. Ce ratio peut être calculé par molécule puis être sommé pour l'ensemble des molécules impliquées dans un programme de traitement, conduisant alors à une estimation d'un risque multi-molécule ou cumulé, sous hypothèse d'additivité, c'est-à-dire sans prendre en compte d'éventuels effets de synergie en lien avec le cocktail de molécules présentes en même temps dans un compartiment environnemental. Selon la valeur du RQ calculé, le risque est qualifié d'inexistant ($RQ < 0.01$), faible ($0.01 < RQ < 0.1$), modéré ($0.1 < RQ < 1$) ou fort ($RQ > 1$) selon Vasickova et al. (2019).

Dans le cadre de ce projet, nous avons estimé par simulation à l'aide du modèle MIPP précédemment décrit, les teneurs environnementales dans les sols et l'eau et les quantités ingérées par un passant par inhalation ou absorption dermique lors d'un traitement. Pour les teneurs sans effets, nous nous sommes appuyés sur les données disponibles dans la base de données de l'Ineris et la base PPDB (Ineris, <https://substances.ineris.fr/fr/>; PPDB, <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/>). Pour les organismes du sol, nous nous sommes basés sur les valeurs de NOEC (No-Observed-Effect Concentration) données pour une espèce de vers de terre en considérant de surcroît un facteur de sécurité de 10. Pour les organismes aquatiques, nous nous sommes basés sur les valeurs de NOEC eau douce, disponibles pour les algues, crustacées et poissons, et avons considéré suivant les recommandations de l'Ineris (Ineris, 2011) un facteur de sécurité allant de 1 à 50 en fonction du nombre de valeurs NOEC disponibles selon les molécules. Pour les passants, nous avons sélectionné l'AOEL (Acceptable Operator Exposure Levels), seul indicateur disponible dans les bases de données usuelles Ineris et PPDB. L'AOEL représente la dose maximale absorbable par un opérateur sans effet sur sa santé. Cet indicateur est exprimé en masse de substance absorbée par jour et par unité de poids sec de l'opérateur (mg/kg poids corporel/j) (UE, 2006). L'AOEL est la référence considérée pour toutes les voies d'absorption confondues : orale, inhalation et voie cutanée.

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

Scénarisation des pratiques de protection phytosanitaire et de gestion des sols

Le modèle MIPP a été mis en œuvre pour estimer l'effet des stratégies de réduction d'usage sur l'exposition environnementale et des passants. L'évaluation environnementale a été conduite à l'échelle du territoire et supposait à la fois de spatialiser les pratiques, actuelles ou co-conçues, pour l'ensemble des parcelles du territoire et de conduire l'évaluation sur un nombre d'années suffisant pour tenir compte de la variabilité climatique, très forte en contexte Méditerranéen, et ses conséquences à la fois sur les transferts d'eau et sur les besoins et possibilités de traitements. L'évaluation du risque d'exposition des passants a été conduite à l'échelle de la parcelle et de la saison de traitement.

Distribution des stratégies de conduite à l'échelle du territoire.

Chaque exploitation du territoire a été associée à un type d'exploitation selon la typologie présentée dans la section ci-dessus détaillant la méthodologie du jeu sérieux. Une stratégie de conduite est ensuite attribuée à chaque parcelle selon son appartenance à un type d'exploitation. L'état initial du territoire a été défini par allocation spatiale des stratégies d'exploitations enquêtées en 2019 et 2020. L'état du territoire après mise en œuvre des stratégies de réduction d'usage a été défini en estimant plausible chaque stratégie co-construite et en distribuant ces stratégies de façon aléatoire mais équiprobable sur les parcelles selon les territoires couverts par chaque type d'exploitation. En fonction de la carte du sol du Rieutort, les stratégies ont également été déclinées selon le type de sol de la parcelle concernée lorsque la définition des stratégies le prévoyait.

Variabilité des sols simulée

La carte des sols a été établie à partir de 316 observations réparties sur la partie cultivée du BV du Rieutort et plusieurs covariables de sol (ex. pente, indicateur d'orientation, ...). La couverture pédologique pour chacun des 4 systèmes de sols identifiés sur le bassin a été réalisée en utilisant un algorithme permettant de bien contrôler la vraisemblance pédologique des cartographies simulées, l'arbre de décision. Deux sols dominants et présentant des contrastes en termes de réserve utile ont été identifiés par territoire des types d'exploitations. La courbe de rétention des différents horizons de sol a été obtenue à l'aide de fonctions de pédotransfert. La conductivité hydraulique de surface est supposée varier entre la valeur relative à un sol en situation croutée et celle d'un sol fraîchement labouré. Ces deux valeurs limites ont été ajustées sur les chroniques de ruissellement mesurées à proximité du site d'étude (Roujan, Puisserguier) (Metayer et al., 2023 ; Charlet, 2022).

Variabilité climatique simulée

L'évaluation a été conduite pour 20 années climatiques représentatives du climat Méditerranéen. Nous nous sommes appuyés sur les chroniques de données pour les années climatiques entre 2001 et 2020. Les données météorologiques sauf la pluviométrie (rayonnement, température, vitesse du vent, pression de vapeur saturante, ...) sont issues des données SAFRAN de Météo-France. Les données pluviométriques étant nécessaires à un pas de temps infra-horaire (5 min) pour les besoins de la modélisation, nous nous sommes appuyés sur la structure des pluies des seules données disponibles à cette résolution temporelle dans la zone (celles de la station météorologique de l'ORE OMERE, Roujan), pour désagréger les cumuls de pluie mesurée à la station de Murviel-lès-Béziers. Sur la période, les cumuls de pluie et d'ETO varient respectivement de 324 à 1019 mm et de 1074 à 1317 mm. 9 années présentent un printemps humide induisant une pression fongique importante tandis que 7 années ont un hiver humide induisant un risque fongique au débourrement.

Définition des calendriers de pratiques à la parcelle

Les calendriers de traitement et de gestion du sol ont été simulés pour l'ensemble des stratégies à partir de règles de décision, codées dans un ensemble de scripts sous R. Ces règles ont été établies à partir de l'analyse des dates de traitements enquêtés ou observés et correspondant à deux années climatiques (humide et sèche), des cadences autorisées entre

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

traitements, de la pluviométrie et du stade de développement de la vigne approché à partir du temps thermique. Les calendriers simulés ont été vérifiés sur les calendriers enquêtés en 2019 et 2020.

Exposition des organismes du sol

Le risque d'exposition journalier des organismes du sol a été calculé, selon les principes décrits plus haut, en considérant l'ensemble des molécules organiques de synthèse et pour tous les types d'exploitation et de leurs stratégies de conduite de la vigne, et pour les deux sols représentatifs définis par type d'exploitation (faible et forte réserve utile). En considérant que les organismes du sol sont homogènement répartis dans les rangs et les inter-rangs, quelle que soient leurs modalités de gestion, c'est la teneur moyenne à la parcelle qui a été comparée à la teneur sans effet pour déterminer le risque. Par ailleurs, en cohérence avec les modalités expérimentales courantes d'estimation de la teneur seuil sans effet, nous avons calculé pour chaque molécule et pour chaque jour, sa teneur moyenne sur 28 jours et dans les 5 premiers cm du sol, pour chaque profil de sol simulé à la parcelle. La teneur moyenne à la parcelle a ensuite été calculée à partir des teneurs par profils, au prorata de la superficie des rangs et des inter-rangs.

Le risque par stratégie est ensuite estimé par la proportion de jours à risque modéré ou fort sur les 20 ans simulés. En l'absence d'hypothèses sur les possibilités de déplacement des organismes du sol en dehors des parcelles, le calcul du risque a été conduit à l'échelle parcellaire uniquement.

Concentration dans les eaux et indicateur de potabilité

La potabilité d'eau est jugée par comparaison de la concentration moyenne annuelle dans les eaux, à l'échelle du bassin versant pour tenir compte des dilutions par les parcelles non viticoles, avec les normes de potabilité en vigueur : au maximum 0.1 µg/L par molécule et 0.5 µg/L toutes molécules incluses. La concentration en pesticides dans les eaux a été calculée par année, à partir de la somme des pertes en pesticides par les eaux de ruissellement sur l'ensemble des parcelles viticoles, divisée par le volume de ruissellement généré sur l'ensemble des parcelles, viticoles ou non du bassin versant, sans considérer les possibles évolutions de concentration au cours du transfert dans le réseau hydrographique. Le réseau du Rieutort est constitué de fossés bordant les parcelles et de deux branches plus conséquentes se rejoignant à proximité de l'exutoire. Il capte le ruissellement Hortonien généré sur les parcelles pendant les forts événements de pluie et ses écoulements sont donc restreints à ces périodes. Ils sont connus pour exercer un rôle tampon potentiel vis-à-vis des eaux de surface, mais avec une très large variabilité selon les molécules et les caractéristiques du réseau (largeur, présence de litière, ...). Aussi, vu le peu de données à notre disposition pour caractériser le réseau du Rieutort, il nous a semblé plus raisonnable de baser notre analyse sur la concentration résultant des versants, représentant dès lors la pression contaminante à effet immédiat sur les eaux de surface et à effet cumulatif et différé sur les eaux souterraines.

L'effet de la mise en oeuvre des stratégies de réduction à l'échelle du territoire a été évaluée par comparaison par rapport à l'état initial, des concentrations annuelles et de la moyenne des concentrations annuelles sur les 20 années simulées, pour l'ensemble des molécules (concentration totale), par cible (herbicides, fongicides, insecticides) ou en distinguant chaque molécule.

Exposition des organismes aquatiques

Le risque annuel d'exposition des organismes aquatiques a été calculé, selon les principes décrits plus haut, à partir des concentrations annuelles des eaux de ruissellement issue des versants et de sa moyenne sur les 20 ans, en distinguant chaque molécule. Ce risque reste indicatif car le cas du régime très intermittent d'une rivière méditerranéenne est très différent des conditions des expérimentations en laboratoire pour lesquelles les concentrations de non effet biologiques ont été déterminées. Le risque d'exposition a été analysé en termes d'intensité comme en termes du nombre de molécules présentant un risque fort.

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

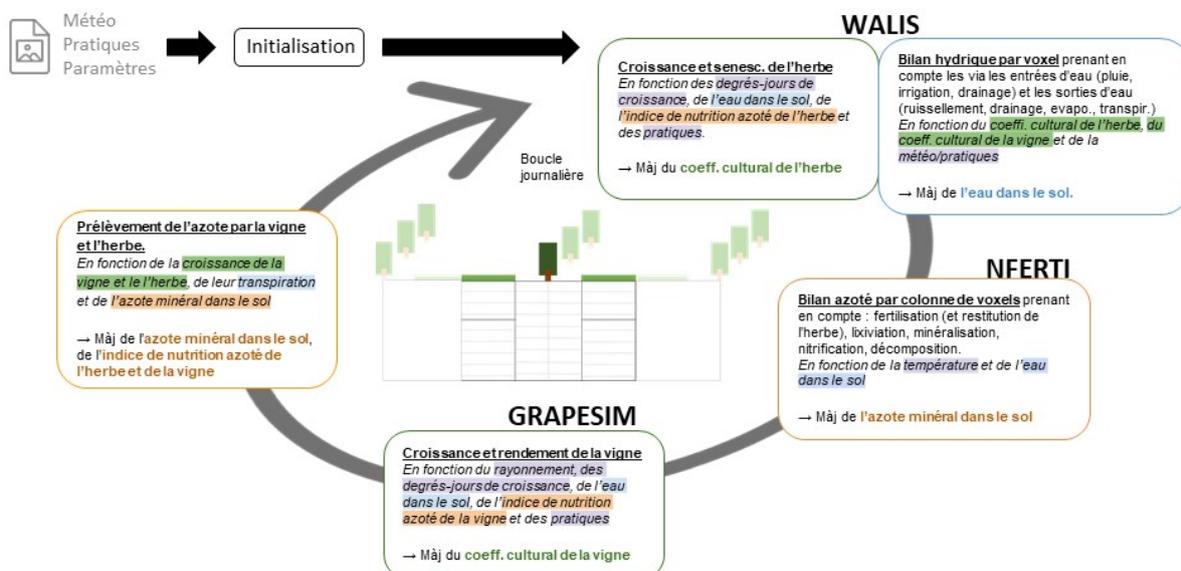
Exposition des passants

Le modèle ADDI-SPRAYDrift a été appliqué pour estimer l'absorption cutanée et par inhalation d'un passant localisé à 5 m en aval des parcelles traitées et ce, pendant tous les traitements fongicides et insecticides relatifs aux stratégies initiales et co-conçues pour les parcelles proches d'habitations et pour l'année 2020. Pour les simulations, des conditions météorologiques fixes ont été considérées, et le développement cultural de la vigne entre les différents traitements d'une même saison culturale a été pris en compte pour adapter le réglage du pulvérisateur et calculer l'interception de la bouillie par la végétation.

Le dépôt cutané des gouttelettes sur des personnes est calculé et l'exposition qui en découle prend en compte un % de pénétration dermique dépendant des composés. L'exposition par inhalation est calculée à partir de la concentration en gouttelettes prédites par ADDI-SprayDrift, le débit respiratoire et la durée de l'exposition, en considérant une imprégnation de 100%. Le dimensionnement des personnes et le débit respiratoire sont repris des préconisations de l'EFSA pour un adulte (EFSA et al., 2022). Un indicateur de risque pour chaque composé utilisé dans la saison est calculé par le rapport entre la quantité de composés inhalée ou ayant pénétrée par voie dermique et le seuil AOEL (mg/kg poids corporel/jour) du composé, selon une démarche similaire à celle mise en oeuvre pour évaluer l'exposition des organismes du sol. De même, un indicateur cumulé sur la saison est calculé en additionnant les indicateurs de risque de chacun des composés utilisés sur la saison. Afin de faciliter la comparaison, le cumul a été normalisé par le cumul de la stratégie initiale HVE-coop permettant ainsi d'évaluer la capacité des stratégies de réduction d'usage à diminuer le risque par rapport à la stratégie initiale.

Eléments méthodologiques relatifs à la modélisation de l'impact de l'enherbement sur le développement de la vigne

Le modèle *sol - vigne - couvert végétal* GrapeSoil développé dans le cadre du projet RIPP s'est appuyé sur le couplage de modèles existants (Walis, Celette et al., 2010 ; NFerti, développé par ITK et Grapesim) développé dans le cadre du projet FUI NV2, en collaboration avec le LEPSE selon le schéma ci dessous :



RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

Figure 4 : Structure du modèle complet GrapeSoil: Sol-Couvert-Vigne développé dans le cadre du projet. Les variables en bleu sont issues de Walis, les variables en marron issues de NFerti et les variables vertes ont fait l'objet d'un développement spécifique

La collecte de données pour le paramétrage des données sol sur le bassin versant du Rieutord a été réalisée dans le cadre du projet Ripp-Viti, ainsi que la modélisation conceptuelle du couplage des modèles.

Le codage sous R du couplage ainsi que les premiers tests de cohérence et d'évaluation ont été financés hors projet Ripp-Viti

La notice du modèle en 50 pages est présentée en annexe du rapport.

Références bibliographiques citées

Bedos, C., Générumont, S., Le Cadre, E., Garcia, L., Barriuso, E., Cellier, P., 2009. Modelling pesticide volatilization after soil application using the mechanistic model Volt'Air. *Atmospheric Environment* 43, 3630–3639. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.03.024>

Celette F., Ripoche A., Gary C., 2010. WaLIS-A simple model to simulate water partitioning in a crop association: The example of an intercropped vineyard. *Agric. Water Manage*, 97, 1749-1759.

Charlet, C., 2022, Evaluation du modèle MHYDAS-Pesticide sur une parcelle viticole de Puisserguier (34), mémoire de fin d'études, ENGEES, 89p.

Crevoisier, C. Dagès, C., Fabre, J.C., Roman-Villafane, S., Voltz, M., 2021. MHYDAS-Pesticides-1.0 : Modélisation Hydrologique Distribuée des AgroSystèmes - Eau et Pesticides. Notice, INRAE Montpellier, UMR LISAH, 58 pages.

Djourhi, M., Loubet, B., Bedos, C., Dagès, C., Douzals, J.P., Voltz, M. (2023). ADDI-SprayDrift: A comprehensive model for simulating aerial pesticide spray drift at field scale. *Biosystems Engineering*, 231, 57-77. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.05.008>.

EFSA (2022). EFSA, Charistou, A., Coja, T., Craig, P., Hamey, P., Martin, S., Sanvido, O., Chiusolo, A., Colas, M., Istace, F., 2022. Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment of plant protection products. *Efsa Journal* 134p.

Gary C.C., Metral R., Dubuc M., Fortino G., et Hofmann C. 2015. DEXiPM grapevine, a multiple criteria model for sustainability assessment of grapevine crop protection strategies. Dans : IPM Innovation in Europe [En ligne]. Disponible sur : < <https://hal.inrae.fr/hal-02743912> > (Consulté le 21 février 2024).

INERIS, 2011. Méthodologie utilisée pour la détermination de normes de qualité environnementale (NQE). Rapport d'étude DRC-11-118981-08866A .

Lafolie, F. Modelling water flow, nitrogen transport and root uptake including physical non-equilibrium and optimization of the root water potential. *Fertilizer Research* 27, 215–231 (1991). <https://doi.org/10.1007/BF01051129>

Lafolie, F., Cousin, I., Marron, P.A., Mollier, A., Pot, V. et al.. The « VSOIL » modeling platform. *Revue forestière française*, 2014, 66, [10.4267/2042/56287](https://doi.org/10.4267/2042/56287). [hal-01192536](https://hal.inrae.fr/hal-01192536)

Loubet, B., Milford, C., Sutton, A.A., Cellier, P., 2001. Investigation of the interaction between sources and sinks of atmospheric ammonia in an upland landscape using a simplified dispersion-exchange model. *Journal of geophysical research* 106, 24, 183-24, 195.

Metayer, G., Dagès, C., Crevoisier, D., Bailly, J.S., Voltz, M. (2023). Performance of a pesticide fate model for predicting multi-year surface runoff contamination in a Mediterranean vineyard. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167357>

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

Pelzer E., Fortino G., Bockstaller C., Angevin F., Lamine C., Moonen C., Vasileiadis V., Guérin D., Guichard L., Reau R., et Messéan A. 2012. Assessing innovative cropping systems with DEXiPM, a qualitative multi-criteria assessment tool derived from DEXi. *Ecological Indicators*. 18, p. 171-182.

Personne, E., Loubet, B., Hermann, B., Mattsson, M., Schjørring, J.K., Nemitz, E., Sutton, M.A., Cellier, P., 2009. SURFATM-NH3: a model combining the surface energy balance and bi-directional exchanges of ammonia applied at the field scale. *Biogeosciences* 1371–1388.

UE, 2006. Guidance for the setting and application of acceptable operator exposure levels. SANCO 7531 - rev.10. (consulté le 26 mars 2024, AOEL GD rev 10 formatted),

Vašíčková, J., Hvězdová, M., Kosubová, P., & Hofman, J. (2019). Ecological risk assessment of pesticide residues in arable soils of the Czech Republic. *Chemosphere*, 216, 479–487. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.158>

Vasileiadis, V. P., Moonen, A. C., Sattin, M., et al. Sustainability of European maize-based cropping systems: Economic, environmental and social assessment of current and proposed innovative IPM-based systems. *European Journal of Agronomy*, 2013, vol. 48, p. 1-11.

Voltz M, Bedos C., Fabre J.C., Loubet B., Chataigner M., Bankwal P., Barriuso E., Benoit P., Brunet Y., Casellas E., Chabrier P., Chambon C., Crevoisier D., Dagès C., Douzals J.P., Drouet J.L., Lafolie F., Mamy L., Moitrier N., Personne E., Pot V., Raynal H., Ruelle B., Samouelian A., Saudreau M., 2017. Integrated Modelling of pesticide fate in agricultural landscapes. 7th International Conference on Pesticide Behaviour in Soils, Water and Air, 30 August - 1 September 2017, University of York, Yor

Annexe : textes des publications

■ Publications scientifiques parues

Publications dans revues internationales (pre-prints mis en annexes diffusables mais il est préférable de se reporter aux textes parus définitifs cf doi indiqués)

Hossard, L., Schneider, C., Voltz, M. (2022). A role-playing game to stimulate thinking about vineyard management practices to limit pesticide use and impacts. *J. Cleaner Prod.*, 380 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134913>

Djourhi, M., Loubet, B., Bedos, C., Dagès, C., Douzals, J.P., Voltz, M. (2023). ADDI-SprayDrift: A comprehensive model for simulating aerial pesticide spray drift at field scale. *Biosystems Engineering*, 231, 57-77. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.05.008>.

Dages, C., Voltz, M., Bailly, J.-S., Crevoisier, D., Dollinger, J., Margoum, C. (2023). PITCH: a model simulating the transfer and retention of pesticides in infiltrating ditch and channel networks for management design purposes. *STOTEN*, 891, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164602>

Textes parus dans les actes de la journée scientifique Vigne et vin du 7 mars 2024 à l'Institut Agro de Montpellier:

Voltz, M., Dagès, C., Hossard, L., Metay, A., Bedos, C., Delpuech, X, Douzals, J.P. Ripp-Viti: un projet ECOPHYTO pour réfléchir à la réduction d'usage et d'impact des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale. JSVV Montpellier, 7 mars 2024. (<https://hal.inrae.fr/hal-04504840>)

L. Hossard, C. Schneider, Marc Voltz. Des stratégies de réduction des usages et impacts des pesticides co-conçues à l'aide d'un jeu sérieux. 15. Journée Scientifique de la Vigne et du Vin, Institut Agro Montpellier; INRAE; Université de Montpellier, Mars 2024, Montpellier, France. pp.27-31. (hal-04494804)

C. Dagès, M. Voltz, D. Crevoisier, C. Bedos, N. Beudez, F. Lafolie, E. Personne, G. Coulouma, M. Djourhi, J.-P. Douzals, J.-C. Fabre, M. Faucher, C. Jean-Louis, B. Loubet, P. Lagacherie, L. Prévot, A. Thoni, F. Vinatier. Evaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles. 15ème Journée Scientifique de la Vigne et du Vin, 2024 <https://hal.inrae.fr/hal-04505443>

C. Bedos, D. Crevoisier, C. Dagès, J.P. Douzals, M. Voltz, et al.. Evaluation de l'exposition humaine à la dérive de pulvérisation à la proximité de parcelles viticoles. Journée scientifique vigne et vin. 15ème édition, Mar 2024, Montpellier, France. (hal-04509768)

R. Métral, C. Schneider, R. De Lange, A. Metay. DEXiPM Vigne®, un outil pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture viticoles Journée scientifique vigne et vin. 15ème édition, 7 Mars 2024, Montpellier, France. (<https://hal.inrae.fr/hal-04510189>)

■ Publications scientifiques prévues

N.B. Parmi les publications prévues, seule la suivante, qui a déjà fait l'objet d'une première rédaction, est affichée ici dans les annexes.

Metay, A. de Lange, R., Schneider, C. Hossard, L., Fernandez-Mena, H., Metral, R., Assessing co-designed low pesticide-use wine-growing systems using the DEXI PM grapevine multicriteria assessment tool. Prévu pour soumission à *Agricultural systems*. (mis dans annexes confidentielles car papier en cours d'amélioration).

■ Notice de modèle

Poupard, M., Albasha, R., Pallas, B., Metay, A., Garcia, L., Pellegrino, A., Documentation du modèle GrapeSoil (mis dans annexes confidentielles car version non stabilisée)

RIPP-VITI : Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture à l'échelle territoriale

Annexe : partie confidentielle

Les deux documents dont les références sont données ci-dessous sont fournis de manière confidentielle car pour l'un il s'agit d'un article en cours de rédaction et pour l'autre d'une documentation de modèle non encore stabilisée.

Metay, A. de Lange, R., Schneider, C. Hossard, L., Fernandez-Mena, H., Metral, R., Assessing co-designed low pesticide-use wine-growing systems using the DEXI PM grapevine multicriteria assessment tool. Prévu pour soumission à Agricultural systems.

Poupard, M., Albasha, R., Pallas, B., Metay, A., Garcia, L., Pellegrino, A., Documentation du modèle GrapeSoil