



**HAL**  
open science

## Evaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles

Cécile Dagès, Marc Voltz, David Crevoisier, Carole Bedos, Nicolas Beudez, François Lafolie, Erwan Personne, Guillaume Coulouma, Meriem Djouhri, Jean Paul Douzals, et al.

### ► To cite this version:

Cécile Dagès, Marc Voltz, David Crevoisier, Carole Bedos, Nicolas Beudez, et al.. Evaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles. 15ème Journée Scientifique de la Vigne et du Vin, 2024. hal-04505443v1

**HAL Id: hal-04505443**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04505443v1>**

Submitted on 14 Mar 2024 (v1), last revised 20 Mar 2024 (v2)

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

2024

JOURNÉE SCIENTIFIQUE VIGNE - VIN

# Journée Scientifique VIGNE - VIN

Le 7 mars 2024 | L'Institut Agro Montpellier



## CONCILIER PRODUCTION ET PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES EN VITICULTURE

Enseignements issus de projets méditerranéens sur les effets des intrants et leur maîtrise



INRAE

L'INSTITUT agro Montpellier

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER



## Evaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles

C. DAGÈS<sup>1</sup>, M. VOLTZ<sup>1</sup>, D. CREVOISIER<sup>1</sup>, C. BEDOS<sup>2</sup>, N. BEUDEZ<sup>3</sup>, F. LAFOLIE<sup>3</sup>, E. PERSONNE<sup>2</sup>, G. COULOUMA<sup>1</sup>, M. DJOUHRI<sup>1</sup>, J.-P. DOUZALS<sup>4</sup>, J.-C. FABRE<sup>1</sup>, M. FAUCHER<sup>1</sup>, C. JEAN-LOUIS<sup>1</sup>, B. LOUBET<sup>2</sup>, P. LAGACHERIE<sup>1</sup>, L. PRÉVOT<sup>1</sup>, A. THONI<sup>1</sup>, F. VINATIER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 2 place Viala, 34060 Montpellier, France

<sup>2</sup> UMR ECOSYS, Uni. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon France

<sup>3</sup> UMR EMMAH, Avignon Université, INRAE, 84914 Avignon Cedex 9, France

<sup>4</sup> UMR ITAP, Uni. Montpellier, INRAE, Institut Agro, F-34060, Montpellier, France

**Contact** : cecile.dages@inrae.fr

La réduction des usages des produits phytosanitaires (PP) de synthèse est un objectif de nombreuses politiques publiques dans les pays européens en raison des impacts environnementaux constatés de ces usages. Ainsi, le plan Ecophyto en France ou le projet de pacte vert européen (Green Deal) ont intégré des objectifs chiffrés de réduction des usages des PP de l'ordre de 50%. Le lien entre réduction d'usage et réduction d'impact, qui est l'objectif réel recherché, n'est toutefois pas trivial au plan scientifique. D'une part, il y a un débat en cours sur la manière même de quantifier la réduction des usages. Le débat porte tant sur la référence initiale considérée que sur les indicateurs à considérer, tels que NODU, IFT, HRI. D'autre part, l'impact ne dépend pas seulement de la dose appliquée ou du nombre de traitements, mais aussi des propriétés intrinsèques des substances actives épandues (mobilité et dégradabilité dans l'environnement, toxicité vis à vis des organismes non cibles), et des conditions de milieu dans la zone d'épandage. Ainsi, même s'il est pertinent, de manière générale, de supposer qu'une réduction d'usage conduit à une réduction d'impact, l'intensité de cette dernière est actuellement difficile à apprécier sans analyser de manière approfondie les influences spécifiques des propriétés des substances actives utilisées et des conditions locales du territoire concerné. A cet effet, nous développons depuis plusieurs années une modélisation, nommée MIPP, simulant les processus de dispersion des pesticides depuis leur lieu d'épandage vers l'écosystème avoisinant afin d'estimer l'évolution de leurs concentrations dans les compartiments sol, eau et air à l'échelle d'un paysage viticole.

Dans le cadre du projet Ecophyto RIIPP-Viti (Voltz et al. dans ce séminaire), nous avons appliqué la modélisation MIPP à l'évaluation des impacts environnementaux de stratégies de protection phytosanitaire et de gestion des sols visant la réduction de l'usage des PP en viticulture méridionale (voir Hossard et al. dans ce séminaire). Nous présentons ici les principes de l'évaluation ainsi que les résultats majeurs en termes de risques d'exposition des organismes du sol, des organismes aquatiques et de risques sur la potabilité de l'eau. L'évaluation des risques d'exposition par voie aérienne de riverains des parcelles traitées est présentée dans un autre exposé (Bedos et al. dans ce séminaire).

### La modélisation de l'exposition aux pesticides dans les compartiments sol, eau et air.

La modélisation MIPP initiée par un consortium d'Unités Mixtes de Recherche INRAE (Voltz *et al.*, 2021) décrit mathématiquement les processus majeurs de dispersion et de rémanence des substances phytosanitaires. Il permet ainsi de représenter l'évolution temporelle et spatiale des concentrations en pesticides dans le sol, les eaux superficielles et l'air à l'échelle d'un territoire hétérogène au plan des caractéristiques de milieu (nature des sols, parcellaire, réseau

La **Journée Scientifique Vigne et Vin** s'adresse aux acteurs académiques et professionnels intéressés par les avancées de la recherche en vigne et vin et leurs applications potentielles dans la filière viti-vinicole. Cet événement, organisé par l'Institut Agro Montpellier, INRAE et l'Université de Montpellier, s'inscrit dans la dynamique de la communauté scientifique **Montpellier Vine & Wine Sciences**. L'objectif de cette journée est de présenter les dernières avancées sur un large éventail de problématiques du secteur vigne et vin, en s'appuyant sur les travaux et résultats scientifiques montpelliérains les plus récents.

Cette année, la thématique proposée est : **Concilier production et performances environnementales en viticulture**.

Ce sera l'occasion de présenter aux travers de plusieurs exposés les résultats de différents projets de recherche-développement collaboratifs menés sur le pourtour méditerranéen et abordant la gestion des intrants et de ses conséquences sur la durabilité des systèmes de culture. Le **projet Irri-Alt'eau** qui s'intéresse à la **réutilisation des eaux usées** pour l'irrigation du vignoble présentera une évaluation de plusieurs filières de traitement des eaux usées pour respecter la qualité réglementaire des eaux. Les **projets Ecophyto Fermes Dephy et RIPP-viti** et ceux de l'UMT ECOTECH IFV-INRAE-Institut Agro ont étudié et expérimenté des stratégies de **gestion viticole durables et économes en produits phytosanitaires** en vue de limiter les impacts de l'usage de ces produits sur l'environnement et la santé humaine. Les exposés relatifs à ces projets présentent de nombreux **leviers de réduction d'usage** et en mesurent et évaluent les **performances environnementales et technico-économique** à l'échelle d'exploitations viticoles et à une échelle territoriale. Il en ressort des marges potentielles de réduction d'usage des produits phytosanitaires sans dégradation de la durabilité des systèmes de culture et avec un bénéfice environnemental significatif mais restant à approfondir selon les compartiments environnementaux considérés.

En espérant que cette journée du 7 mars 2024 soit riche d'échanges et d'enseignements pour tous.

Agnès AGEORGES

## Comité Scientifique

Agnès Ageorges, INRAE, UMR SPO  
Hervé HANNIN, Institut Agro Montpellier, UMR MOISA  
Elena KAZAKOU, Institut Agro Montpellier, CEFE  
Raphaël METRAL, Institut Agro Montpellier, UMR ABSYS  
Thierry SIMONNEAU, INRAE, UMR LEPSE  
Patrice THIS, INRAE, AGAP Institut  
Laurent TORREGROSA, Institut Agro Montpellier, UMR LEPSE  
Marc VOLTZ, INRAE, UMR LISAH

## Comité d'organisation

Agnès AGEORGES, INRAE, UMR SPO  
Jana KANDLER, Institut Agro Montpellier, IHEV, Pôle Vigne et Vin  
Chantal LEFEBVRE, Institut Agro Montpellier, IHEV, Pôle Vigne et Vin  
Didier OLLÉ, Institut Agro Montpellier, IHEV, Pôle Vigne et Vin  
Sabine RAGUSI, Institut Agro Montpellier, IHEV, Pôle Vigne et Vin

hydrographique, relief) et de gestion agricole (gestion des sols, programme de traitements phytosanitaires). Il s'agit à ce stade d'un modèle de recherche car 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.

### La démarche menée d'évaluation des impacts

La modélisation précédente a été appliquée pour simuler l'impact environnemental pour les exploitations viticoles du bassin du Rieutort (Hérault) (voir description dans Voltz et al dans ce séminaire) de leurs stratégies de protection phytosanitaire et de gestion des sols. Deux types de stratégies ont été considérées : celles initiales enquêtées pour les saisons culturales 2019 et 2020 et celles co-construites par approche participative pour identifier des stratégies permettant une réduction des usages et des impacts des PP par type d'exploitation viticole (voir Hossard et al. dans ce séminaire). Pour chaque type d'exploitation (HVE coop, AOP-Saint-Chinian-part et Bio-Saint-Chinian-part), plusieurs stratégies de réduction d'usage ont été co-construites. Elles sont identifiées de manière simplifiée dans la suite selon leur mode de protection fongique 0 CMR, Raisonné+, Bio, Bio+, variétés résistantes. Elles se différencient toutefois également par d'autres leviers adoptés concernant la protection contre les insectes, la gestion des sols, l'implantation et la gestion d'infrastructures paysagères (haies, fossés), les techniques de pulvérisations. Elles sont décrites par Hossard et al. dans ce séminaire. Pour les évaluations d'impact à l'échelle du bassin du Rieutort, nous avons considéré que toutes les stratégies co-construites étaient plausibles et avons donc supposé que leur implémentation sur les territoires occupés par chaque type d'exploitation était équiprobable. L'évaluation a été menée pour 20 années climatiques afin de rendre compte de la variabilité de l'impact en fonction des conditions climatiques extrêmement variables en milieu Méditerranéen. Les substances pesticides considérées dans l'évaluation d'impact sont les substances organiques de synthèse ; leurs métabolites n'ont pas été intégrés dans l'analyse à ce stade. Les substances de bio-contrôle et le soufre n'ont pas été évalués car supposés avoir un impact environnemental faible. Les substances à base de cuivre ne l'ont pas été non plus car le cuivre est déjà présent en grande quantité dans les sols viticoles ce qui rend difficile l'évaluation des impacts spécifiques dues aux apports actuels ou envisagés.

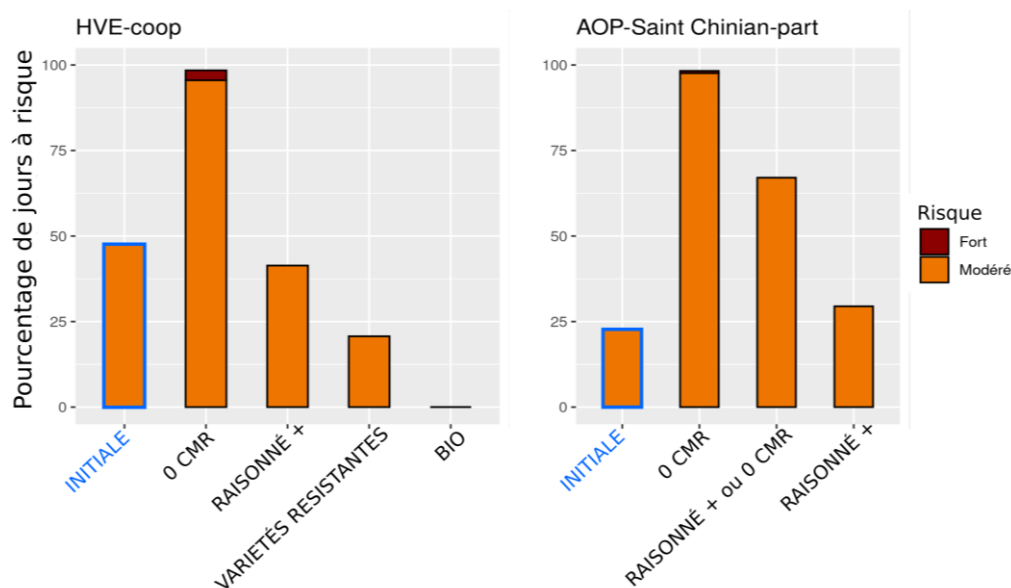
### Risques d'impact sur les organismes du sol

L'impact est mesuré par le nombre de jours pendant lesquels en moyenne à l'échelle annuelle ces organismes sont confrontés dans la couche du sol à des concentrations de PP proches (risque modéré) ou supérieures (risque élevé) aux concentrations seuil à partir desquelles un risque d'impact biologique est supposé possible au regard des références expérimentales actuelles. La **figure 1** montre la variabilité du nombre de jours estimés par modélisation pour les stratégies initiales et les stratégies de réduction d'usage des PP identifiées par jeu sérieux sur les sols des 2 types d'exploitations du bassin du Rieutort pour lesquelles un risque au moins modéré a été estimé. Il faut toutefois préciser que les risques estimés ne concernent que les substances actives synthétiques et donc que les risques liés à l'utilisation du cuivre, notamment en AB, n'ont pas été quantifiés dans la mesure où toutes les types d'exploitation y sont confrontés par l'important stock de cuivre existant dans les sols viticoles.

On observe que le risque d'impact biologique est très majoritairement modéré en ce qui concerne les organismes du sol. Il est très similaire pour les exploitations HVE-coop et AOC-St-Chinian. Il est évidemment inexistant pour les exploitations en AB en ce qui concerne les substances de synthèse. La comparaison effectuée montre également dans le cas des organismes du sol que la réduction d'usage, qui est manifeste en termes d'IFT, ne se traduit pas nécessairement par une réduction de risque. On peut noter notamment que les stratégies excluant l'usage de substances CMR présentent un risque accru pour les organismes du sol car cela a entraîné 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 fortement aux risques d'impact sont le glyphosate et la spiroxamine.



**Figure 1. Pourcentage annuel moyen de jours à risque écotoxique modéré ou fort pour les organismes du sol selon les stratégies initiales ou les stratégies co-construites de réduction d'usage des PP synthétiques pour les exploitations viticoles de type HVE-coop et AOP-Saint Chinian-part.** (N.B. ne considérant ici que les substances de synthèse, le risque estimé pour les exploitations en AB est nul et donc non représenté).

### Contamination des eaux et risques d'impacts sur les ressources en eau potables

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 ce sont elles qui par infiltration sont susceptibles d'affecter la qualité des captages d'eau potable situées à l'exutoire du bassin.

On observe dans la **figure 2** une forte variabilité inter-annuelle des contaminations de l'eau en lien avec la forte variabilité des cumuls de pluie. En effet, 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. On observe aussi que pour la grande majorité des années la contamination est au-dessus de 0,5 µg/L qui constitue la limite fixée de potabilité des eaux. Cela signifie que les eaux superficielles issues du territoire viticole exercent potentiellement une pression polluante continue sur les captages qu'elles rechargent. Cette pression ne peut toutefois aboutir à une contamination problématique du captage que si la recharge par les eaux du Rieutort est prépondérante par rapport à d'autres sources de recharge peu ou pas contaminée.

La mise en place des stratégies de réduction des usages spécifiques à chaque type d'exploitation du bassin du Rieutord limite significativement la contamination des eaux, qui en termes de concentration est diminuée en moyenne de 35% (**figures 2 et 3**). 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 (**figure 3**). On notera toutefois que les fongicides contribuent aussi de

# Sommaire

---

- Déterminants et évaluation de l'efficacité des pulvérisateurs viticoles** p. 1  
**Jean-Paul DOUZALS**  
INRAE, UMR ITAP, UMT Ecotech, Montpellier
- Exposition des viticulteurs et des riverains aux produits phytopharmaceutiques. Quels sont les déterminants de l'exposition ?** p. 7  
**Sonia GRIMBUHLER**  
INRAE, UMR ITAP, Montpellier
- Maîtrise de la qualité des eaux usées traitées pour l'irrigation de la vigne** p. 9  
**Nicolas SAURIN**  
INRAE, UE Pech Rouge
- Réduction des produits phytopharmaceutiques en viticulture : les enseignements du réseau DEPHY Ferme** p. 15  
**Laurent DELIERE**  
INRAE, UMR SAVE, Bordeaux
- 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** p. 19  
**Marc VOLTZ**  
INRAE, UMR LISAH, Montpellier
- Des stratégies de réduction des usages et impacts des pesticides co-construites à l'aide d'un jeu sérieux** p. 27  
**Laure HOSSARD**  
INRAE, UMR INNOVATION, Montpellier
- Évaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles** p. 33  
**Cécile DAGÈS**  
INRAE, UMR LISAH, Montpellier
- Évaluation de l'exposition humaine à la dérive de pulvérisation à la proximité de parcelles viticoles** p. 39  
**Carole BEDOS**  
INRAE, UMR EcoSys, Palaiseau
- DEXIPM Vigne®, un outil pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture viticoles** p. 45  
**Raphaël METRAL et Aurélie MÉTAY,**  
Institut Agro Montpellier, UMR ABSys, Montpellier
-



manière non négligeable mais que leur impact est réparti entre de nombreuses molécules dont les principales sont le metiram, le folpet, le fluopicolide et le tebuconazole.

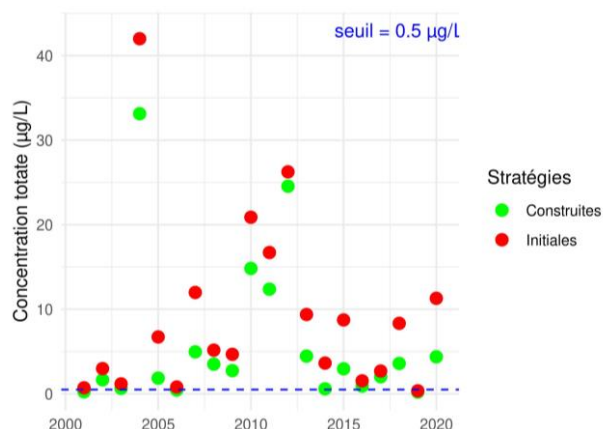


Figure 2. Evolution inter-annuelle simulée de la concentration totale moyenne en substances actives de synthèse dans les eaux superficielles du bassin du Rieutord selon les stratégies initiales des exploitations (points verts) ou les stratégies co-construites par approche participative (points rouges).

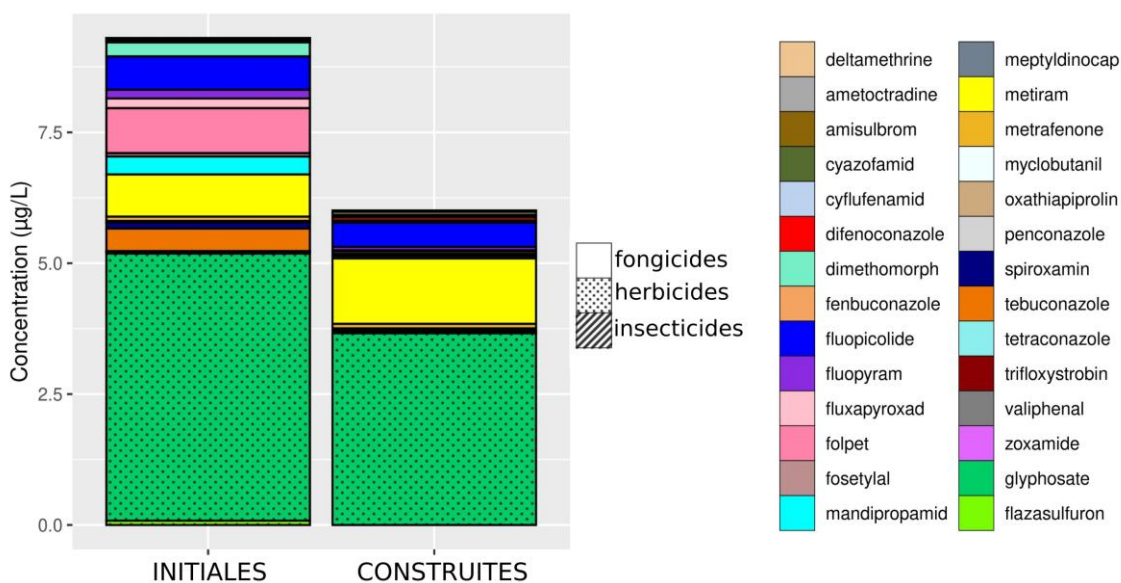


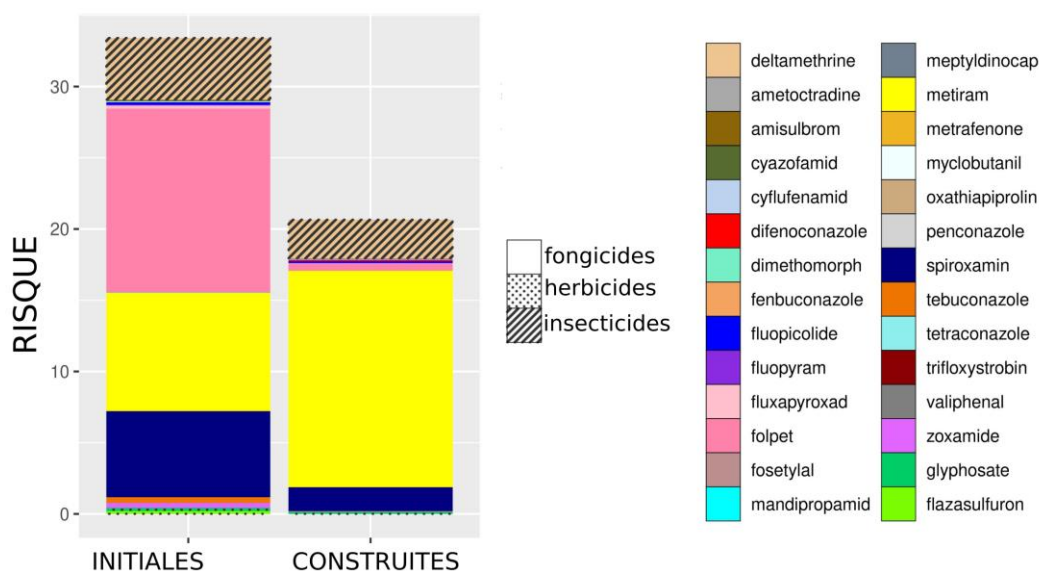
Figure 3. Contribution des différentes classes de substances actives aux concentrations totales simulées dans les eaux superficielles du bassin du Rieutord pour les stratégies de protection phytosanitaire initiales des exploitations ou les stratégies co-construites par approche participative.

### Contamination des eaux et risques d'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 déterminés en laboratoire. 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 4** indique que les risques d'impact biologique sont très élevés bien supérieur 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 metiram, folpel, spiroxamine, deltaméthrine. A nouveau, les stratégies de réduction des usages minimisent le risque sans toutefois l'éliminer.



**Figure 4. Risque estimé d'impact biologique sur les organismes aquatiques de la contamination des eaux par les substances phytosanitaires de synthèse épanchées sur le bassin du Rieutort selon les stratégies initiales des exploitations ou les stratégies de réduction envisagées par approche participative.**

### Conclusions : messages-clefs

- Les stratégies actuelles de protection phytosanitaires en viticulture conventionnelle présentent un risque modéré d'impact biologique sur les organismes du sol, mais un risque élevé d'impact sur les organismes aquatiques et un risque élevé sur la potabilité des ressources en eau.
- Les réductions d'usage telles qu'envisagées par une approche participative conduisent à des changements d'impact environnemental variable. Pour la contamination des ressources aquatiques, elles 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 d'environ 39%. Mais cette réduction n'est pas suffisante car les risques de contamination des eaux et d'impact sur les organismes aquatiques restent élevés. Pour les organismes du sol, les réductions d'usage envisagées sont plutôt défavorables en raison des substitutions de molécules opérées.
- Les substances actives problématiques en termes d'impacts écotoxicologiques ne sont pas les mêmes selon la cible biologique ce qui rend délicat le choix des substances pour un objectif de préservation de l'environnement.
- En climat méditerranéen, l'évaluation de l'impact environnemental des pratiques phytosanitaires devrait être menée de manière pluri-annuelle pour éviter un biais d'évaluation lié à la variabilité climatique forte et la variabilité consécutive des risques de contamination des eaux entre années. La modélisation peut aider à cela.

## Déterminants et évaluation de l'efficacité des pulvérisateurs viticoles

Jean-Paul DOUZALS<sup>2</sup>, Sébastien CODIS<sup>1</sup>, Olivier NAUD<sup>2</sup>, Adrien VERGES<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR ITAP – UMT Ecotech – Université de Montpellier

<sup>2</sup> IFV – UMT Ecotech

Contact : jean-paul.douzals@inrae.fr

### Introduction

La pulvérisation correspond au principal moyen utilisé pour l'application de produits de protection du vignoble. Comparée à d'autres secteurs de production agricole, la viticulture se distingue par une grande variété dans la conception des appareils de pulvérisation qui doivent répondre à une grande diversité de modes de culture (écartement, palissage, taille mais aussi parcellaire, etc.). La nouvelle donne du Green Deal européen et de la stratégie de la fourche à la fourchette amènent à reconsidérer l'ensemble des facteurs pouvant permettre une réduction des quantités de produits de protection des plantes, et de leurs impacts. Parmi ces solutions, la pulvérisation constitue paradoxalement un domaine souvent oublié. En effet, pendant longtemps, le cahier des charges pour la conception des appareils s'est limité à l'amélioration de la productivité et à satisfaire les aspects de sécurité des opérateurs, mais sans réelle considération des besoins agronomiques ni environnementaux.

La fonction principale d'un pulvérisateur, durant la phase de traitement, est de produire des gouttes et de permettre leur transport et leur dépôt sur des cibles (feuilles, grappes). En pratique, ce processus est assez complexe car il fait intervenir de nombreux paramètres liés au matériel (conception générale, buses ou diffuseurs, assistance d'air), les conditions de terrain (pente, devers, vitesse d'avancement), la culture (largeur de l'inter-rang, distance à la cible, vigueur), les conditions météorologiques (température, humidité, vent) et, quelquefois, le type de bouillie (physico-chimie, volatilité). Peu d'études ont traité du rendement global d'une application (bilan massique) mais les quelques études existantes ont identifié de grandes disparités selon les situations (**Figure 1**).

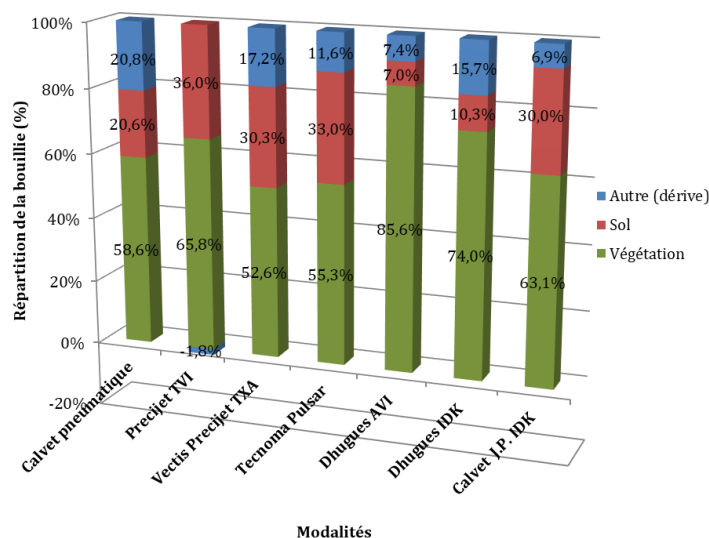


Figure 1. Bilan masse d'une application phytosanitaire en viticulture (données UMT Ecotech)

---

## Remerciements

Le projet RIPP-Viti est une action pilotée par les Ministères de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de la Santé et de la Prévention (MSP) et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français de la Biodiversité, dans le cadre de l'APR « Produits phytopharmaceutiques : de l'exposition aux impacts sur la santé humaine et les écosystèmes », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto II+. Les auteurs remercient Colette Bertrand (INRAE – ECOSYS) et Clémentine Fritsch (CNRS – Chronoenvironnement) pour leurs conseils sur la démarche d'évaluation du risque pour les organismes du sol.

## Références

- INERIS, 2011. Méthodologie utilisée pour la détermination de normes de qualité environnementale (NQE). Rapport d'étude DRC-11-118981-08866A
- Voltz M., Bedos C., Crevoisier, D., Dagès C., Djouhri M., Fabre J.C., Lafolie F., Loubet B., Personne E., Bankwal P., Barriuso E., Benoit P., Brunet Y., Casellas E., Chabrier P., Chambon C., Chataignier M., Douzals J.P., Drouet J.L., Mamy L., Moitrier N., Pot V., Raynal H., Ruelle B., Samouëlian A., Saudreau M. 2021. Modélisation Intégrée du devenir des Pesticides dans les Paysages agricoles. Colloque annuel de la Société d'Ecotoxicologie Fondamentale et Appliquée, 28-29 juin 2021, <https://hal.inrae.fr/hal-03303236>.

La recherche de l'efficacité des applications pose ainsi deux questions principales : *i)* quels sont les déterminants de l'efficacité des pulvérisateurs et *ii)* quels sont les moyens pour les évaluer ?

## 1- Déterminants de l'efficacité d'application

En l'absence de cahier des charges plus précis, les bases de l'efficacité peuvent être définies comme : *i)* une maximisation des dépôts sur les cibles et, *ii)* la minimisation des pertes au sol dans la parcelle et en dérive (pertes en dehors de la parcelle traitée).

### 1.1 L'efficacité c'est maximiser les dépôts sur les cibles

Les préoccupations en terme de performance de dépôt des appareils de pulvérisation viticoles ont été initiées il y a un peu plus de 10 ans partant du constat de la difficulté de comparaison de cette performance au champ. En effet, les nombreuses sources de variabilité de la végétation s'expliquent par des différences d'architecture entre cépages et une croissance de la vigne conduisant à une surface foliaire très évolutive durant la saison (**Table 1**) et rendent les comparaisons de dépôt au champ assez difficiles.

**Table 1. Variabilité de la surface foliaire au cours du temps** (d'après M. Djouhri, 2022)

	March/April	May/June
Growth stage * (BBCH growth scale)	Early stage (19)	Developed stage (57)
Canopy height (m)	1.43	2.0
Minimum leaves wall height (m)	0.50	0.40
LAI of the field	1	3
LAI of vine rows <sup>#</sup>	7,8	10,7
Vine row width (m)	0.32	0.70
Leaf width (m)	0.12	
Leaf angle (°) with respect to the horizontal direction	75	

\* According to BBCH scale of vine phenological stages, at the 1<sup>st</sup> growth stage (19) the vines have only few leaves (9 or more) while at the 5<sup>th</sup> growth stage their development reached its maximum (Inflorescences fully developed)

<sup>#</sup> The LAI of vineyard rows is calculated as a function of field LAI, rows spacing, width and height, and leaf wall starting.

### Dépôts au champ selon la densité foliaire :

Lorsque l'on mesure les dépôts de pulvérisation au vignoble, les quantités collectées sur le feuillage sont liées au nombre de feuilles capables de capter la bouillie. Les quantités collectées sont également corrélées à l'indice de surface de mur de feuille (Leaf Wall Area ou LWA donné en m<sup>2</sup> par ha) avec toutefois des différences liées à la typologie de pulvérisateur comme illustré dans la **figure 2** suivante (Grella et al., 2022).

À noter que le LWA est inversement proportionnel à la largeur de l'inter-rang; pour une végétation de même vigueur, les valeurs de LWA en vigne étroite sont par conséquent majorées.

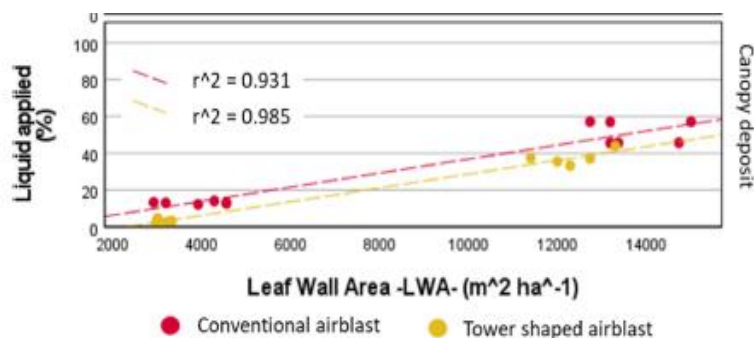


Figure 2. Evolution of canopy deposition according to Leaf Wall Area ( $m^2ha^{-1}$ ) (d'après Grella *et al.*, 2022)

### Dépôts normalisés par unité de surface de feuille :

Lors de la mesure des dépôts de pulvérisation sur le feuillage, il est possible de normaliser ces dépôts par unité de surface de feuille, en exprimant les dépôts en  $\mu g$  de traceur pulvérisé par  $cm^2$ .

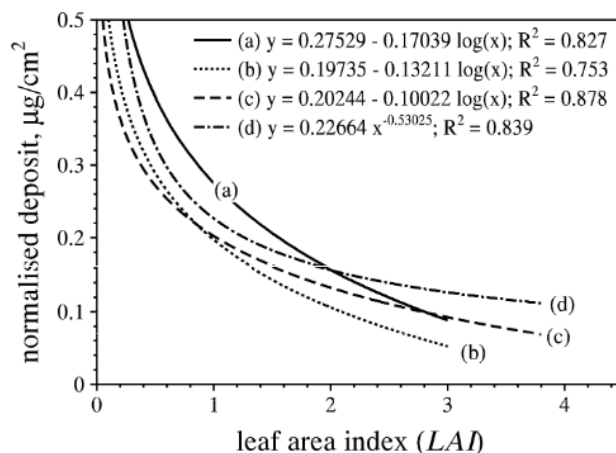


Figure 3. Dépôts normalisés en  $\mu g/cm^2$  en fonction du LAI pour différentes cultures **a)** vigne, 90 tests avec des pulvérisateurs récents (2001-02), Siegfried *et al.* (2005); **b)** vigne, 163 tests avec des pulvérisateurs anciens (1999-2000), Siegfried *et al.* (2005); **c)** Pommes, 102 tests, Rüegg *et al.* (2001); **d)** vigne, 42 tests (1993-2005), Pergher (2007) d'après Pergher & Petris, 2008.

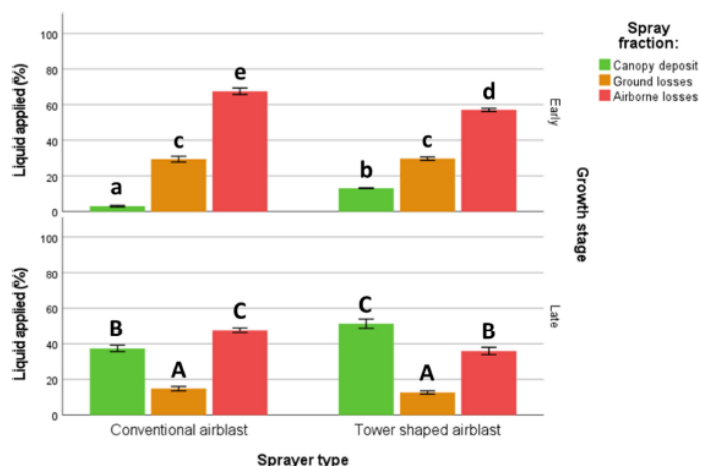
Ainsi, le même volume par hectare appliqué (ou la même quantité de traceur appliqué par ha) sur une vigne en début ou en fin de végétation va entraîner des dépôts normalisés qui varient dans un rapport de 1 à 6. Les critères de stade phénologique, de surface foliaire et de technologies d'application seront donc à considérer pour l'évaluation de la performance des appareils.

### 1.2 L'efficacité, c'est également limiter les pertes au sol et les pertes en dérive

Les pertes au sol dans la parcelle ont deux causes possibles : i) une mauvaise orientation des diffuseurs ou buses et, ii) une taille de goutte supérieure à  $400 \mu m$  qui peut entraîner du ruissellement des feuilles.

Les pertes par dérive sont au départ des pertes aériennes qui entraînent une contamination de l'environnement en dehors de la parcelle traitée.

Ces deux types de pertes sont illustrés par la **figure 4** suivante :

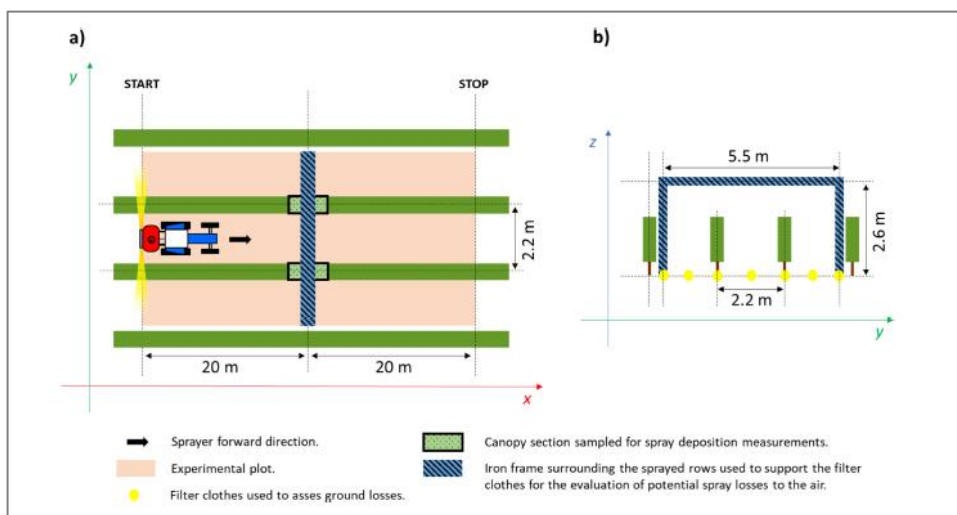


**Figure 4. Evolution des pertes (sol – air) pour deux pulvérisateurs à deux stades végétatifs différents. D'après Grella et al., 2022.**

## 2- Les moyens d'évaluer les indicateurs de performance

### 2.1 Les mesures au champ

Les mesures au champ constituent le moyen le plus courant pour réaliser ces mesures même si elles sont lourdes à mettre en œuvre, dépendent des conditions météorologiques. Dans le cas de Grella et al. (2022), un portique a été imaginé autour d'un rang de vigne afin d'évaluer l'ensemble des compartiments du bilan masse.



**Figure 5. Dispositif expérimental utilisé au champ pour l'évaluation du bilan masse. D'après Grella et al., 2022.**

De manière similaire, une norme internationale ISO 22866 (2005) décrit la procédure et les conditions de validation des essais pour réaliser des mesures de dérive (aérienne ou sédimentaire) au champ. Les fortes contraintes liées à la force et la direction du vent rendent la réalisation de ces essais très aléatoires et nécessitent un nombre important d'essais afin de stabiliser des valeurs avec des conditions de vent variables.



## 2.2. Les mesures en situation artificielle et/ou semi-contrôlées

Un projet emblématique de l'UMT Ecotech a consisté à développer et valider une méthodologie d'évaluation de la performance d'application sous forme de dépôts. Ce projet donne lieu aujourd'hui à une classification volontaire des appareils viticoles connue sous le nom de Performance Pulvé. (<http://www.performancepulve.fr/>). Sur le fondement posé en viticulture, une classification similaire est développée aujourd'hui pour l'arboriculture.

Ce projet a permis de développer des collaborations européennes notamment avec des équipes de recherche espagnoles, italiennes et allemandes.

Une autre étude plus ancienne a utilisé une « cage » constituée de fils polyéthylène afin d'évaluer les pertes aériennes autour (**Figure 6**).

La réalisation de mesures de dérive en situation contrôlée est possible avec des souffleries, malheureusement, il n'est pas possible de tester un appareil entier. Ainsi, le deuxième projet emblématique de l'UMT Ecotech a consisté à développer un générateur de vent (EoleDrift) permettant de générer des conditions vent semi contrôlées pour le test de routine de la dérive de pulvérisateurs.

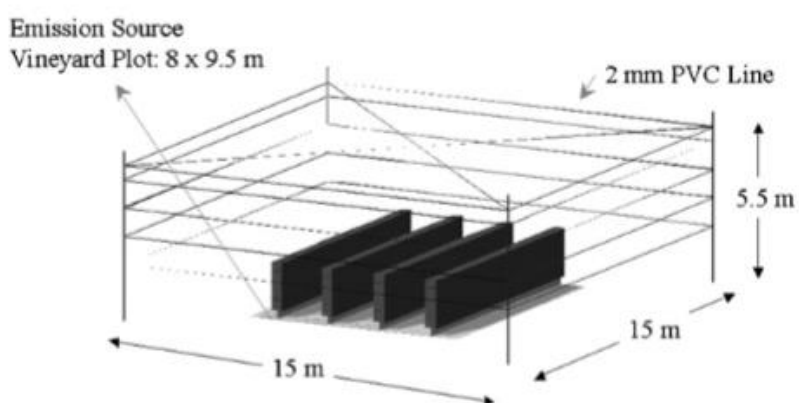


Figure 6. Evaluation des apertes aériennes. D'après Gil *et al.*, 2007.

## 2.3 La modélisation

La pulvérisation en viticulture a longtemps été absente des travaux de modélisation, plus orientés vers les cultures basses ou l'arboriculture (Chahine, 2011). Très récemment un modèle innovant a été développé (ADDI Spray Drift) qui intègre l'ensemble du processus : description des conditions d'émission, interception par la végétation et dépôts potentiels au sol (dans et en dehors de la parcelle) et interception aérienne par des personnes présentes.

## Conclusion

La pulvérisation joue un rôle majeur dans la performance d'application avec de nombreuses sources de variabilité. Les récents travaux d'évaluation de leur performance réalisée au sein de l'UMT Ecotech portent sur la capacité des matériels à améliorer le dépôt sur les cibles et sur la limitation de la dérive, première étape de l'évaluation plus globale d'un bilan massique plus exhaustif.

---

**Références**

- Chahine, A., (2011). Modélisation de la dispersion aérienne de pesticides des échelles locales aux échelles régionales, influence des aménagements et quantification des niveaux d'exposition. Thèse.
- Cheraïet, A., Naud, O., Carra, M., Codis, S., Taylor, J., (2022). Evaluation of the distribution of spray deposits within a vine canopy from measurements on artificial targets and real leaves. *Oeno One* Vol. 56 No. 4.
- Cheraïet, A., Codis, S., Lienard, A., Vergès, A., Carra, M., Bastidon, D., Bonicel, J.F., Delpuech, X., Ribeyrolles, X., Douzals, J.P., Lebeau, F., Taylor, J., Naud, O., (2024) EvaSprayViti: a flexible testing facility for comparative assessment of the 3D deposition efficiency of vineyard sprayers at multiple growth stages. accepté avec révision *Biosystem Engineering*.
- Djoughri, 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.
- Gil, Y., Sinfort, C., Brunet, Y., Polveche, V., Bonicelli, B., (2007). Atmospheric loss of pesticides above an artificial vineyard during air-assisted spraying. *Atmospheric Environment*. 41. 2945-2957.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.12.019>
- Grella, M., Marucco, P., Oggero, G., Manzone, M., Gioelli, F.S., Balsari, P. (2022). Environmental Evaluation of Vineyard Airblast Sprayers Through a Comprehensive Spray Mass-Balance Approach. In: Biocca, M., Cavallo, E., Cecchini, M., Failla, S., Romano, E. (eds) *Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems. SHWA 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 252. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-98092-4\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-030-98092-4_39)
- Pergher, G. & Petris, R. (2008). Pesticide Dose Adjustment in Vineyard Spraying and Potential for Dose Reduction. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. X.

## **Exposition des viticulteurs et des riverains aux produits phytomarmaceutiques. Quels sont les déterminants de l'exposition ?**

**Sonia GRIMBUHLER<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> UMR ITAP, Univ. Montpellier, INRAE, Institut Agro, F-34060, Montpellier, France

**Contact** : [sonia.grimbuhler@inrae.fr](mailto:sonia.grimbuhler@inrae.fr)



## Maîtrise de la qualité des eaux usées traitées pour l'irrigation de la vigne

**Nicolas SAURIN<sup>1</sup>, Hernán OJEDA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> UE Pech Rouge – Domaine de Pech Rouge, 11430 Gruissan

**Contact** : nicolas.saurin@inrae.fr

### Introduction

Dans un contexte de changement climatique et d'augmentation des besoins en eau d'irrigation, la Réutilisation des Eaux Usées Traitées (REUT) apparaît comme l'une des solutions à développer. Elle est de plus en plus encouragée par les organisations internationales comme la FAO et par l'Europe. En France, la REUT est clairement promue dans les conclusions des Assises de l'eau (2019) et du Varenne de l'eau (2022).

En 2010, on estime que 20 millions d'hectares à travers le monde sont irrigués avec des eaux usées brutes ou diluées, soit environ 10 % des terres irriguées. Seuls 500 000 ha sont irrigués avec des EUT. Dans les régions arides et semi-arides, les taux de réutilisation des eaux usées peuvent atteindre 90 % (Israël, Jordanie), 25 à 30 % dans le Sud méditerranéen, et enfin plus proche de nous 14 % en Espagne et 8 % en Italie. En France, moins de 1 % des EUT sont réutilisées. Les expériences les plus anciennes et symboliques sont celles des sites de Noirmoutier (300 ha de pomme de terre) et de Clermont-Ferrand (700 ha de blés, betteraves et maïs irrigués depuis 1999).

C'est sur le territoire de la Narbonnaise que les premières initiatives pour l'irrigation de la vigne ont été lancées par la commune de Gruissan et la communauté de communes du Grand Narbonne, il y a plus de 15 ans.

### La REUT, une démarche de territoire sur la Narbonnaise

Sur le territoire de la communauté de communes du Grand Narbonne, la culture dominante est la vigne (20 000 ha). Seule une partie restreinte de la zone est raccordée au réseau Bas-Rhône-Languedoc (BRL) ou à des réseaux collectifs d'irrigation. La pression estivale sur la ressource est importante, et la demande en eau pour l'irrigation de la vigne afin de maintenir une production en quantité et qualité économiquement viable est en augmentation.

Dans ce contexte, la REUT apparaît comme une ressource alternative potentielle. Ses enjeux pour le territoire sont nombreux :

- Pérenniser l'activité économique viticole dans un contexte de changement climatique et de raréfaction des ressources en eau
- Préserver les ressources conventionnelles (eau potable, souterraine et de surface)
- Améliorer l'état écologique des lagunes par la diminution voire la suppression des rejets de STEP dans ces milieux naturels sensibles
- Favoriser l'économie circulaire et la résilience du territoire vis-à-vis du risque sécheresse
- Engager de nouvelles coopérations et collaborations entre les acteurs économiques, les acteurs de la recherche, la collectivité et les usagers sur la préservation des ressources en eaux

La première étape initiée a été le projet de R&D collaboratif régional Irri-Alt'Eau – eau alternative pour l'irrigation – regroupant Veolia Eau, Aquadoc, la Cave coopérative de Gruissan, le Grand Narbonne et les laboratoires INRA du LBE et de l'unité expérimentale de Pech Rouge (Etchebarne *et al.*, 2016a, 2016b). Un prototype de traitement tertiaire (1,5 m<sup>3</sup>/h) sur la station de Narbonne Plage a été mis en œuvre avec un suivi analytique poussé (paramètres physico-chimiques, microbiologiques, polluants émergents, résidus médicamenteux) afin d'évaluer les effets sur l'environnement (compartiment sol, eau, plante) et sur la qualité du produit fini (raisin, moût et vin) de l'irrigation avec des eaux de qualité différentes sur deux parcelles de vigne.

Cette première étape comporte 3 campagnes expérimentales de 2013 à 2015. Elle s'est poursuivie par 3 années supplémentaires de 2016 à 2018 à travers l'Observatoire Irri-Alt'Eau afin de poursuivre l'acquisition de données sur les parcelles irriguées et quantifier les effets à plus long terme (Ojeda *et al.*, 2022).

En 2017, une étude prospective du Grand Narbonne a permis de caractériser les 32 STEP du territoire. L'analyse multicritères sur la qualité initiale du rejet de la STEP, les caractéristiques physiques et techniques du site, les bénéfices économiques et environnementaux potentiels, ont donné un outil d'aide à la décision pour le déploiement de cette ressource alternative. C'est dans ce cadre que le démonstrateur Irri-Alt'Eau 2.0 a été mis en œuvre. Opérationnel depuis 2022, il permet d'irriguer un périmètre potentiel de 80 ha de vigne sur la commune de Gruissan sur la base d'une quantité d'eau réutilisée de 750 m<sup>3</sup>/ha/an (soit 60 000 m<sup>3</sup>/an).

En parallèle, notons qu'un pilote pour l'irrigation de 15 ha de vigne a été mis en place dès 2019 à Roquefort des Corbières (Vignerons de Leucate, BRL, Grand Narbonne) sur la base d'une quantité d'eau réutilisée de 500 m<sup>3</sup>/ha/an (soit 7 500 m<sup>3</sup>/ha)<sup>1</sup>.

### Qualité réglementaire des eaux usées traitées : résultats du projet Irri-Alt'Eau

Le cadre réglementaire des essais Irri-Alt'eau était régi par l'arrêté ministériel du 25 juin 2014 modifiant l'arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts. Cet arrêté définit quatre qualités d'eau (A, B, C, D) qui sont utilisables en fonction du type de cultures (vivrières, transformées, industrielles) et des types d'apport de l'eau (avec et sans contact avec la culture). Cette réglementation a pour objet de préserver la santé des populations et l'environnement. Les normes de qualité des eaux sont définies dans le **tableau 1**.

Pour obtenir les eaux de qualité B et C, la mise en œuvre d'un traitement tertiaire est nécessaire. De manière générale, les filtrations sur sable et à tamis en début de traitement tertiaire éliminent de la Matière en Suspension (MES) et de la matière organique, ce qui optimise le traitement des pathogènes, et limite les risques d'encrassement du réseau. Le traitement de désinfection et d'élimination des pathogènes peut se faire par UV, ozonation, chloration. La chloration en fin de cycle d'irrigation, ou en continu, permet de limiter le développement de biofilms au niveau des canalisations et des gouttes à gouttes pour éviter les colmatages.

La première phase du projet Irri-Alt'Eau a consisté à comparer ces quatre qualités d'eau. Le prototype de traitement tertiaire était équipé d'un filtre mécanique et de deux lignes de traitement constituées de réacteurs UV basse pression et d'une désinfection au chlore (dosage prévu de 1,5 à 3 g/m<sup>3</sup> de produit commercial concentré à 48°) pour la première (qualité visée B) et d'une désinfection au chlore (dosage prévu de 3 à 5 g/m<sup>3</sup>) pour la seconde (qualité visée C). La qualité A correspond à l'eau potable et la qualité D a été prélevée dans le canal St Marthe à Narbonne.

---

<sup>1</sup> [https://actu.fr/occitanie/roquefort-des-corbieres\\_11322/aude-reutiliser-eaux-usees-traitees-lirrigation-vigne-une-alternative-secheresse\\_26665493.html](https://actu.fr/occitanie/roquefort-des-corbieres_11322/aude-reutiliser-eaux-usees-traitees-lirrigation-vigne-une-alternative-secheresse_26665493.html)

En 2013, au démarrage des essais, la vigne était classée parmi les cultures requérant une eau de qualité B.

**Tableau 1. Niveaux de qualité sanitaires des eaux usées traitées (arrêté du 25 juin 2014)**

Paramètres	Niveau de qualité sanitaire des eaux traitées			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/l)	< 15	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation		
Demande chimique en oxygène (mg/l)	< 60			
Entérocoques fécaux (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Phages ARN F-spécifiques (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Spores et bactéries anaérobies sulfito-réductrices (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Escherichia coli (UFC/100ml)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-

Un protocole de mesure et un suivi analytique a été appliqué sur différentes matrices : eau en entrée de STEP, en entrée et sortie du traitement tertiaire (qualité B et C) et au point d'usage des 2 parcelles de vignes, eau brute, eau potable, eau de la nappe phréatique d'une des deux parcelles situées en zone littorale, sol, plante, raisin, moût et vin.

Ce protocole intégrait différents paramètres dont les paramètres réglementaires (MES, DCO, *E. coli*, Entérocoques, Phages ARN, spores et bactéries sulfito-réductrices), la conductivité électrique, la concentration des composés minéraux, des anions et cations, la quantification d'une partie du gène codant pour l'ARNr 16S permettant de dénombrer l'ensemble des bactéries et quantification d'un indicateur de contamination fécale d'origine humaine, le gène HF183, la concentration en métaux lourds, sous-produits de désinfection (THM, chloramines, NDMA), certains paramètres RSDE (métaux, HAP, pesticides totaux, chlorophénols, COHV), des substances émergentes (carbamazépine, paracétamol), et des hormones (estradiols alpha et bêta, estrone, éthynyl estradiol), multi-résidus de pesticides (260 molécules) et Nonylphénol.

Nous nous limiterons à la présentation des résultats concernant les paramètres réglementaires. Les autres paramètres analysés n'ont pas permis de mettre en évidence de risques sanitaires ou environnementaux particuliers.

En résumé, la filière de traitement testée en 2013 et 2014 avec filtration de 50 µm, désinfection UV et chloration n'a pas permis d'atteindre toutes les exigences microbiologiques de la qualité B, car sur le paramètre BASR, l'abattement moyen a été de 2,6 log. Elle permet de respecter très largement les performances demandées pour la qualité C sur l'ensemble des paramètres.

La filière de traitement constituée d'une filtration à 50 µm ou à 25 µm couplée à une chloration ne permet pas de satisfaire aux exigences de la qualité C.

En 2013 et 2014, la maille du filtre mis en œuvre était de 50 µm. Pour la campagne 2015, celle-ci a été remplacée par une maille de 25 µm. Le changement de filtre a permis d'améliorer les performances de la filière filtration 25 µm, désinfection et chloration. Néanmoins les rendements moyens sur le paramètre BASR restent inférieurs à la norme (2,84 log en moyenne pour une valeur limite 3 log), indiquant des situations récurrentes de non-conformité. Cela dit, la performance de

l'abattement dépend des niveaux en entrée de STEP. Plus ceux-ci seront bas, plus l'atteinte du seuil sera difficile. Or les niveaux en entrée de STEP sur le paramètre BASR étaient plus faibles en 2014 qu'en 2015. On voit ici toute la difficulté à maîtriser un procédé sur la base d'une performance relative.

Entre-temps, le classement de la vigne a évolué et en 2016, elle ne requière qu'une eau de qualité C.

Au vu des résultats précédents et du nouveau classement, les essais poursuivis de 2016 à 2018 ont retenu la filière filtration 25 µm, désinfection UV et chloration. La comparaison a porté sur l'eau potable comme témoin et l'eau de qualité C couplées à deux stratégies d'irrigation dont une renforcée. Sur les 3 campagnes, un ensemble de 15 analyses a été réalisé. Aucune non-conformité n'a été trouvée sur le suivi des entérocoques, 1 non-conformité pour le suivi de *E. coli*, 2 pour le suivi des phages ARN et 3 pour le suivi des spores de BASR. Ceci étant, les concentrations en phages ARN observées en entrée de STEP ont été très faibles. Leur élimination en sortie de pilote a été variable. L'élimination des spores de BASR varie d'une semaine à l'autre avec des concentrations en entrée de station très variable.

### Évolution du cadre réglementaire

La nouvelle loi européenne du 25 mai 2020 tend à harmoniser les règlements nationaux. Les nouvelles règles européennes ont été traduites à l'échelon français fin 2023 avec l'arrêté du 18 décembre 2023 relatif aux conditions de production et d'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation de cultures.

D'un côté, les nouveaux seuils européens sont plus exigeants. Ainsi les seuils de qualité sanitaire sur *Escherichia coli* passent de 100 000 à 1 000 nombre/100mL. De l'autre, la notion d'abattement entre l'entrée de la STEP et le point d'usage a été supprimée, ce qui simplifie et rend plus logique l'application pour les autres paramètres (coliphages ou spores de *Clostridium perfringens*, ce dernier ayant été choisi comme étant l'indicateur de protozoaires). La nouvelle loi est aussi accompagnée de contrôles sanitaires plus fréquents, et d'un plan de gestion des risques afin de pouvoir réagir au plus vite en cas d'incidents.

Cette nouvelle réglementation interroge les choix technologiques des sites existants. Dans quelle mesure les traitements déjà mis en place permettront de satisfaire à la nouvelle réglementation ? Sera-t-il nécessaire de les adapter ? Si oui, à quel coût ?

### Perspectives

Le démonstrateur Irri-Alt'Eau est entré en fonctionnement en 2022. Le pilote de 1,5 m<sup>3</sup>/h et les deux parcelles expérimentales situées à 700 m de la STEP ont laissé la place à un système assurant un débit de 50 m<sup>3</sup>/h et un réseau de distribution de l'eau traitée de 7800 mètres linéaires répartis sur le massif de la Clape avec un point haut à 100 m d'altitude.

Un premier point d'attention porte sur la salinité. Pendant les essais Irri-Alt'Eau, le pilote de traitement tertiaire mesurait en continu la conductivité électrique, indicateur de salinité de l'eau, pendant les phases de fonctionnement, soit quelques heures par semaine. La conductivité électrique de l'eau traitée était élevée, avec des valeurs comprises entre 1400 et 1900 µS/cm. Mais à aucun moment les essais n'ont été interrompus. Afin de prendre en compte ce risque, un seuil d'arrêt de pompage a été défini à 2200 µS/cm sur le démonstrateur. Lors des deux campagnes d'irrigation de 2022 et 2023, ce seuil a été dépassé à 1 ou 2 reprises avec arrêt de pompage pendant 3 à 5 jours. Cette augmentation de la conductivité électrique est liée à des entrées maritimes et une submersion



ponctuelle des réseaux de collecte des eaux usées. En zone littorale, les effets de la salinisation potentielle des sols sont donc à surveiller, et à long terme, la mise en œuvre d'un traitement de désalinisation sera probablement nécessaire. En général, les stations du littoral sont soumises de manière plus ou moins prononcée à ces phénomènes d'infiltration d'eaux de mer dans les réseaux de collecte des eaux usées.

Un second point d'attention concerne la stabilité de la composition physico-chimique et microbiologique des eaux au sein d'un réseau d'adduction étendu. Sur de petites distances, peu de différences ont été observées entre la composition des eaux en sortie de traitement tertiaire et le point d'usage. Qu'en est-il sur un réseau de plus grande ampleur avec des points d'usage situés à 4 ou 5 km de la sortie de STEP pouvant comporter des zones de stagnation des eaux ?

Enfin, même si la nouvelle réglementation a vocation à simplifier la mise en œuvre de projets de REUT, cette mise en œuvre n'en reste pas moins complexe et doit prendre en compte différentes dimensions. Afin de comprendre le processus de mise en œuvre d'un projet de REUT et identifier de potentiels freins, manques ou leviers à son déploiement, il est important de décrire les processus de prise de décision dans ses dimensions techniques, économiques (comparaison du coût de l'eau, du consentement à payer et du prix de l'eau), réglementaires, politiques.

#### **Références bibliographiques**

Etchebarne F., Escudier J-L., Ojeda H. 2016a. Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation de la vigne. Partie 1/2 : Enjeux, besoins, exemples et réglementation. *Revue des Œnologues*, 160, Juillet 2016, 11-14.

Etchebarne F., Escudier J-L., Ojeda H. 2016b. Les eaux usées traitées peuvent-elles constituer une source d'eau alternative? *Revue des Œnologues*, 160, Juillet 2016, 9-10.

Ojeda H., Caboulet D., Ait-Mouheb N., Etchebarne F., Saurin N. 2022. La réutilisation des eaux usées traitées (REUT). Une source en quantité et qualité maîtrisées pour l'irrigation de la vigne. *Revue des Œnologues*, 182 : 28-31.



## Réduction des produits phytopharmaceutiques en viticulture : les enseignements du réseau DEPHY Ferme

**Laurent DELIÈRE<sup>1</sup>, Olivier NEFTI<sup>1</sup>, Nicolas CHARTIER<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> SAVE, INRAE, Bordeaux Sciences Agro, ISVV, F-33140, Villenave d'Ornon, France

<sup>2</sup> Institut de l'Élevage-Agrapole, 23 rue Jean Baldassini, F-69364 Lyon Cedex 7, France

**Contact** : laurent.deliere@inrae.fr

Le réseau DEPHY ferme est une action du plan ECOPHYTO, qui vise à produire des références sur des Systèmes de Cultures (SdC) agricoles économes en produits phytosanitaires. Il regroupe 3000 fermes volontaires pour conduire un projet de réduction de l'usage des produits phytosanitaires. Elles sont réparties localement en 250 collectifs, spécialisés sur une filière agricole et animés par un Ingénieur Réseau. Ce conseiller accompagne les agriculteurs engagés, et enregistre annuellement diverses informations pour caractériser leurs exploitations. Ce document présente les performances des Fermes DEPHY pour la filière viticulture et la période 2017-2020, ainsi que les principales évolutions depuis leur entrée dans le réseau

L'échantillon est constitué de 415 SdC répartis sur 9 bassins viticoles, 45% d'entre eux ont rejoint le réseau entre 2011 et 2014 et 55% en 2016. En termes de mode de conduite, 63% des SdC sont en conventionnel, 26% en Agriculture Biologique (AB) et 11% se sont convertis à l'AB entre l'entrée dans le réseau et la campagne 2020.

Au sein de ces systèmes, plusieurs catégories de leviers sont mobilisées. Le désherbage mécanique et les couverts végétaux constituent les leviers principaux pour la réduction de l'usage des herbicides. 75% des SdC intègrent ainsi du désherbage mécanique sur tout ou partie de la surface. Pour la gestion des maladies et des ravageurs, les leviers d'optimisation des traitements sont majoritairement mobilisés (OAD, réduction des doses, pulvérisation confinée). Viennent ensuite le biocontrôle, et les techniques de prophylaxie liées aux opérations en vert.

**L'IFT hors-biocontrôle moyen** a chuté de 24% entre l'état initial et la moyenne 2018 à 2020, avec des dynamiques différentes selon les bassins viticoles et les modes de production. Toutes les catégories d'IFT sont à la baisse (fongicides, insecticides, herbicides), et l'IFT hors biocontrôle est en diminution dans 70% des SdC. Par ailleurs, Les SdC du réseau sont généralement plus économes en produits phytosanitaires que la « ferme viticole française », et leurs IFT diminuent plus fortement.

Au-delà de cette réduction quantitative, plusieurs tendances sur l'usage des produits phytosanitaires ont été observées.

**Le recours au biocontrôle** est en forte progression, +33% en moyenne (+1 point d'IFT). Les substances utilisées se diversifient, malgré la prédominance du soufre avec 86% de l'IFT biocontrôle en 2017 et 62% en 2020). En conventionnel, les produits de biocontrôle semblent se substituer aux produits de synthèse, et ainsi contribuer à la baisse de l'IFT hors biocontrôle. Pour la gestion du mildiou, cette substitution est majoritairement faite au moyen de phosphonates, non-homologués en AB. A noter qu'aucune relation n'a été mise en évidence entre la part de biocontrôle dans les traitements et la maîtrise du mildiou, y compris en situation de forte pression.

**En conventionnel, l'usage des produits CMR** (classés cancérigène-mutagène-reprotoxique) a fortement diminué, tant par le nombre de SdC utilisateurs que par les quantités appliquées. Cette dynamique s'applique à toutes les substances. En moyenne, les SdC sans CMR ont des IFT plus faibles, recourent davantage au biocontrôle, au cuivre et à la main d'œuvre manuelle. Pour des niveaux de pression parasitaire moyenne, à forte aucune différence de maîtrise des maladies n'a été mise en évidence entre stratégies sans et avec CMR.

**Le cuivre** est utilisé par la quasi-totalité des SDC (98%), tout mode de conduite confondu, la bouillie bordelaise et les hydroxydes de cuivre représentant la majorité des usages. Contrairement à d'autres substances, le cuivre est assez peu substitué par du biocontrôle. Les SdC AB utilisent en moyenne 2 à 3 fois plus de cuivre que ceux en conventionnel. Les quantités varient annuellement selon la pression parasitaire du mildiou. Pour les SdC conventionnels, le recours au cuivre est stable malgré une réduction de l'IFT. La proportion de cuivre dans les produits utilisés est donc en augmentation.

La moitié des SdC **mettent en œuvre des opérations d'aération du feuillage, pour limiter la sensibilité de la vigne aux bioagresseurs**. Ces SdC sont caractérisés par une surface plus réduite, des coûts de main d'œuvre plus importants et présentent également un IFT fongicide significativement plus faible. Le recours ou non à ces opérations n'a pas été corrélé avec une différence de maîtrise des bioagresseurs.

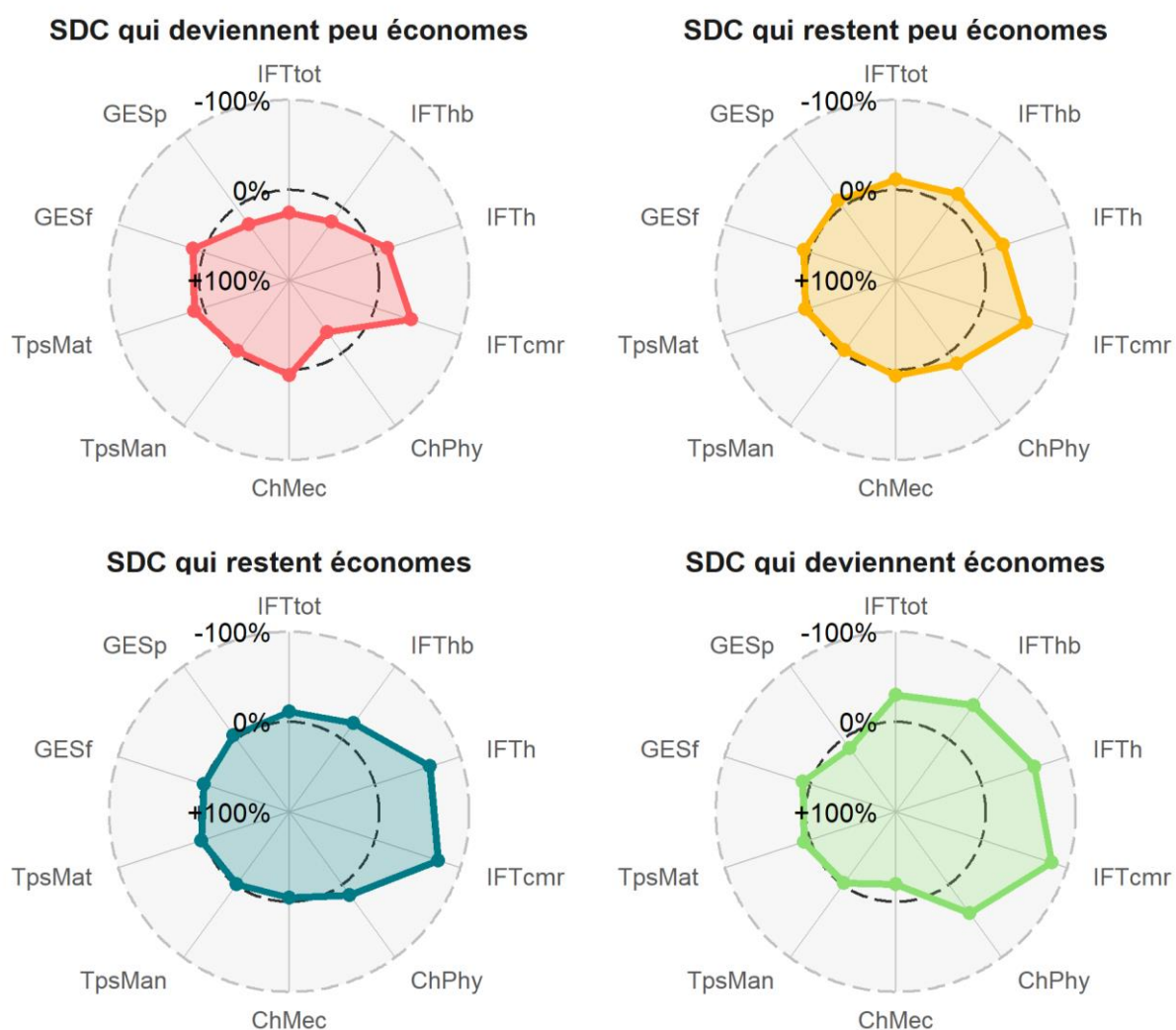
Plus d'un tiers des SdC ont abandonné **l'usage des herbicides** (pour moitié dans le cadre d'une conversion à l'agriculture biologique) et les SdC qui poursuivent l'usage des herbicides limitent les quantités mises en œuvre (moins de traitements, et à de plus faibles doses) et travaillent le sol plus fréquemment. L'adoption du travail mécanique du sol entraîne une hausse du temps de travail mécanisé, des charges de mécanisation, et des émissions de gaz à effet de serre.

En viticulture conventionnelle, l'arrêt des herbicides s'inscrit dans un changement de pratiques plus global et est en moyenne accompagné d'une réduction de l'IFT total. Réduire l'IFT herbicide implique donc des transformations importantes dans le système de culture : réorganisation, temps, coûts, outillage, besoins de main d'œuvre qualifiée et compétences en agronomie.

**En Viticulture Biologique**, les IFT totaux sont plus faibles qu'en conventionnel mais reposent toutefois sur un plus fort usage du cuivre et du soufre, qui semble difficile à limiter. Ces SdC émettent davantage de GES, d'une part via les molécules utilisées, et d'une autre via leur consommation de carburant plus élevée. Lors d'une conversion à l'AB, l'IFT hors biocontrôle et les charges phytosanitaires diminuent. En contrepartie, le temps de travail mécanisé et charges liées augmentent. Aucune évolution du temps de travail manuel n'a été observée.

Afin de prendre en compte le contexte agro-climatique, il est pertinent de qualifier l'IFT d'un SdC par rapport à un IFT de référence régionale (IFT moyen du bassin viticole issu des enquêtes pratiques culturelles). Un SdC peut ainsi être qualifié d'économe si son IFT est inférieur à 75% de l'IFT de référence, et peu économe s'il lui est supérieur. On peut comparer cet état entre leur entrée dans le réseau et l'année 2019. Ainsi 28 SdC ont été identifiés comme « devenant peu économes », 133 « restent peu économes », tandis que 163 « restent économes », et 91 « deviennent économes ». Les SdC qui deviennent économes sont en majorité conventionnels (75%). Mais c'est aussi dans cette catégorie qu'on retrouve la moitié des SdC en conversion de l'étude. Les SdC qui restent économes sont eux majoritairement en AB (63%).

La **figure 1** présente, pour chaque catégorie de trajectoire, l'évolution moyenne (en %) de différents indicateurs de performance entre l'entrée dans le réseau et les années 2018 à 2020.



Source : CAN DEPHY, 2023

**Figure 1. Evolution moyenne en pourcentage de l'état initial de différents indicateurs entre l'état initial et la moyenne 2018-2019-2020, au sein des quatre trajectoires identifiées.** IFTtot : IFT total ; IFThb : IFT hors-biocontrôle, IFTTh : IFT herbicide ; IFTcmr : IFT pour les produits contenant des matières actives CMR ; ChPhy : Charges phytosanitaires ; ChMec : Charges de mécanisation ; TpsMan : Temps de travail manuel ; TpsMat : Temps d'utilisation du matériel ; GESf : Emissions de Gaz à Effet de Serre liées à l'approvisionnement et la consommation de fuel ; GESp : Emissions de Gaz à Effet de Serre liées à l'approvisionnement en intrants phytosanitaires (indirectes).

On observe une diminution des IFT herbicides et CMR pour toutes les catégories de trajectoires. Les SdC qui restent peu économes voient tout de même leurs IFT diminuer. L'IFT hors biocontrôle est même en baisse pour 80% d'entre eux. Hormis les charges phyto, les performances technico-économiques moyennes sont peu impactées par les trajectoires d'évolution de l'IFT. Seuls les systèmes qui deviennent économes voient leurs charges de mécanisations augmenter. Peu d'évolution d'émissions moyennes de gaz à effet de serre sont observés hormis pour les SdC devenant économes.



# 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

Marc VOLTZ<sup>1</sup>, Cécile DAGÈS<sup>1</sup>, Laure HOSSARD<sup>2</sup>, Aurélie METAY<sup>3</sup>, Carole BEDOS<sup>4</sup>, Xavier DELPUECH<sup>5</sup>, Jean-Paul DOUZALS<sup>6</sup>

<sup>1</sup> UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 2 place Viala, 34060 Montpellier, France

<sup>2</sup> UMR Innovation, Univ. Montpellier, INRAE, CIRAD, Institut Agro, 2 place Viala, 34060, Montpellier, France

<sup>3</sup> UMR AbSys, Uni. Montpellier, INRAE, CIRAD, Institut Agro, 2 place Viala, 34060, Montpellier, France

<sup>4</sup> UMR ECOSYS, Uni. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon France

<sup>5</sup> IFV, Domaine de l'Espiguette, 30240 Le Grau-du-Roi, France

<sup>6</sup> UMR ITAP, Univ. Montpellier, INRAE, Institut Agro, F-34060, Montpellier, France

Contact : marc.voltz@inrae.fr

## Contexte et objectifs

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 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 PhyAtmo provenant de sites viticoles indiquent une contamination saisonnière de l'air avec jusqu'à 24 ng/m<sup>3</sup> en cumul hebdomadaire moyen des concentrations toutes substances confondues au mois de juin (ANSES, 2017). Une étude récente montre une contamination de l'air ambiant proche d'écoles situées à proximité de vignes, avec des concentrations jusqu'à plus 20 ng/m<sup>3</sup> (Raherison *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 ou 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, en zone viticole, évolue peu. 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 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 à la fois plus nettes et à capacité d'adoption élargie afin d'aboutir à des diminutions d'usage et d'impacts à l'échelle de territoires dans leur ensemble.

La possibilité de telles stratégies existe telle que montrée par le réseau des fermes Dephy qui vise depuis plus de 10 ans à produire des références sur les systèmes agricoles économes en PP. La synthèse récente des données de ce réseau pour les fermes viticoles (C.A.N. Dephy, 2023 ; L. Delière dans ce séminaire) 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.

Dans ce contexte, le projet RIPP-Viti, soutenu de 2020 à fin 2023 par le plan Ecophyto II dans le cadre de ses appels à projets de Recherche et Innovation, 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. 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 différentes contraintes parcellaires, d'exploitations et de filières présentes sur le territoire.

Dans la suite sont présentés la démarche du projet, le terrain d'étude, ainsi que les outils opérationnels et enseignements majeurs issus du projet pour concevoir et évaluer des stratégies de réduction d'usage et d'impact des PP en viticulture méridionale. Quatre interventions complémentaires, présentées lors de cette 15<sup>ème</sup> JSVV détaillent les résultats du projet selon les 4 thématiques suivantes : l'application d'une démarche par jeu sérieux pour réfléchir à la conception de stratégies de réduction des usages et impacts (Hossard et al.), l'évaluation des impacts environnementaux de stratégies de protection phytosanitaire viticole (Dagès et al.), l'évaluation de l'exposition des riverains de la protection phytosanitaire en viticulture (Bedos et al.), l'évaluation de la durabilité de systèmes de culture viticole en évolution (Metral et al.).

## Démarche du projet

La démarche, résumée dans le **figure 1**, a été menée en trois étapes principales.

- **Un diagnostic initial des exploitations viticoles existantes sur un territoire d'étude**, le bassin du Rieutort (voir description plus loin). 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, chercheurs) et deux groupes d'acteurs viticoles (producteurs, conseillers viticoles) du bassin du Rieutort. Le choix d'opérer l'approche participative 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.



- **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. Une paramétrisation de l'outil d'analyse multicritère DEXiPM Vigne® a été menée pour les types d'exploitations viticoles identifiés sur le bassin du Rieutort. Un modèle original de simulation, MIPP-V1, a été constitué pour simuler dans un paysage viticole hétérogène les nombreux processus de dispersion des PP depuis 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. Ces travaux d'évaluation ont conduit à une estimation de la durabilité des exploitations et des impacts en cas d'application des stratégies élaborées par les groupes ayant utilisé 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 environnementales en cours.

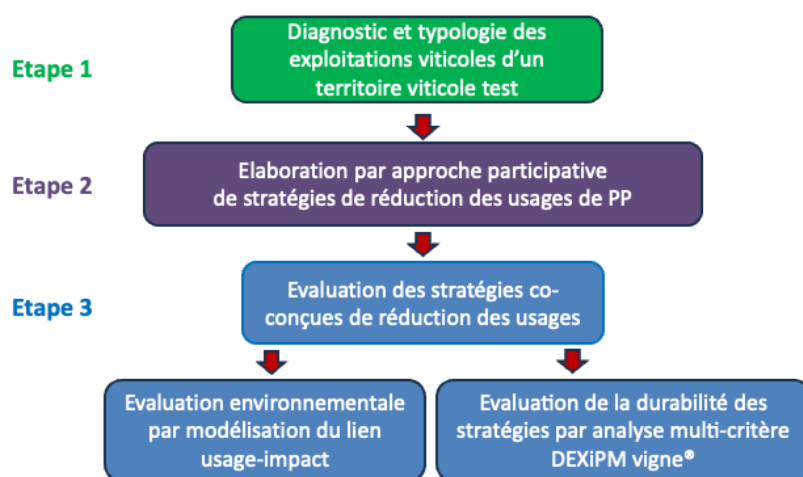


Figure 1. Démarche du projet RIPP-Viti en 3 étapes

Pour l'élaboration des stratégies durant le jeu sérieux un ensemble de leviers de réduction des usages ou d'impact ont été proposés pour adoption par les joueurs du jeu. Ils ont concerné tant des leviers de gestion de la culture (pulvérisation, gestion du sol, mode de protection phytosanitaire, substitution de substances) que de gestion paysagère (implantation de zones ou d'infrastructures tampons, modification des pratiques selon la proximité d'habitations).

### Le site du bassin du Rieutort

Le bassin viticole choisi pour la mise en œuvre du projet Ripp-viti a été le bassin du Rieutort. Localisé en grande partie dans la plaine viticole héraultaise, en bordure des premiers contreforts du Massif Central, ce bassin s'étend sur 45 km<sup>2</sup>, dont 15,4 km<sup>2</sup> sont consacrés à la culture de la vigne (voir **figure 2**). Il présente une grande diversité de sols (sols d'alluvions récentes et anciennes, sols calcaires sur dépôts miocène et éocène, sols superficiels acides sur schistes...), 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 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 PP 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 » dans la liste des captages les plus menacés par les pollutions diffuses ([http://www.deb.developpement-durable.gouv.fr/telechargements/ouvrages\\_grenelles.php](http://www.deb.developpement-durable.gouv.fr/telechargements/ouvrages_grenelles.php)).

Le Riutort 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...).

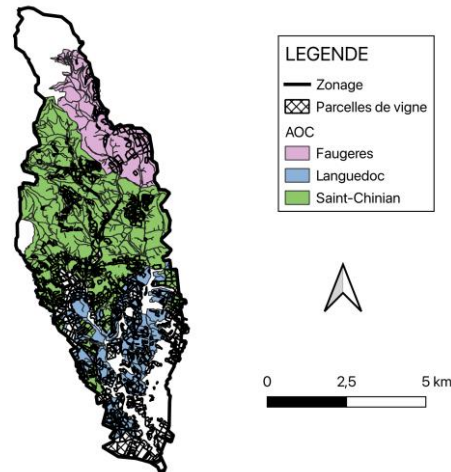


Figure 2. Carte des zones viticoles et de leurs appellations sur le bassin du Riutort

### Les outils opérationnels développés ou testés par le projet

- **Un jeu sérieux** pour réfléchir à des stratégies de diminution des usages et impacts des pesticides: Le jeu sérieux a été construit par une approche participative avec des viticulteurs et d'autres acteurs du conseil et de la filière. Il considère toutes les cibles des PP, ainsi que des contextes d'exploitation variables tels que rencontrés sur un territoire viticole (ici, le bassin du Riutort). Sous réserve de plusieurs adaptations identifiées avec des conseillers de la Chambre d'Agriculture de l'Hérault, ayant testé le jeu (ex. typologie d'exploitation, modes de protection fongique, "jouabilité", celui-ci pourrait être déployé en accompagnement de groupes de viticulteurs (ex. groupes Dephy) pour appuyer leurs réflexions.
- Un outil d'aide à la décision **DEXiPM Vigne**<sup>®</sup> Metral *et al.* (2015) qui évalue la contribution des systèmes de culture à la durabilité des exploitations agricoles pour ses trois piliers économique, social et environnemental. Entièrement qualitatif, ce modèle d'analyse multicritère se renseigne à dire d'experts. Il note de 0 à 5 la durabilité des exploitations agricoles selon les trois piliers.
- **Un ensemble de fiches** pour faciliter l'appropriation des résultats du projet par les professionnels (viticulteurs, conseillers techniques, animateurs de collectif...). Deux types de fiches le composent:
  - Des fiches "Leviers" décrivent les intérêts agronomiques et environnementaux de chaque levier de réduction d'usage des PP proposé dans le jeu sérieux.
  - Des 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.

Les fiches sont consultables en ligne (<https://vignevin.github.io/ripp/>) et téléchargeables en pdf.

## Les enseignements principaux du projet

### ***Des stratégies d'évolution permettant la réduction des usages à l'échelle d'un territoire***

- Les stratégies consistent en une déclinaison spatiale d'un ensemble de leviers parcellaires et extra-parcellaires de réduction des usages et/ou de dispersion dans l'environnement des PP. Les leviers sont différenciés en fonction des contraintes paysagères, des structures d'exploitation et de la variabilité d'objectifs de production viticole. Co-construites avec les acteurs du terrain d'étude, les stratégies représentent pour l'essentiel des évolutions réalistes des systèmes de culture viticole actuels. Elles sont adaptées à la diversité de situations d'exploitation et de milieu que l'on rencontre à l'échelle d'un territoire viticole.
- Les stratégies conduisent à une diminution potentielle significative de l'usage des PP sur le territoire étudié, une diminution d'environ 39% d'IFT. Elles intègrent des pratiques différenciées à IFT fortement réduit pour les parcelles avoisinant des zones habitées.
- La durabilité des exploitations n'est pas affectée par l'évolution des pratiques telles que définies dans les stratégies co-conçues. Elle n'est jamais réduite et est souvent améliorée, principalement au niveau du pilier environnemental et parfois également au niveau économique et social.

### ***Une diminution globale des impacts environnementaux mais variable entre exploitations et à poursuivre***

- A l'échelle territoriale la réduction d'usage permise par les stratégies élaborées pour chaque type d'exploitation aboutit à une réduction globale des impacts environnementaux. Mais, pour certaines stratégies, réduction d'IFT ne conduit pas à une réduction de tous les impacts. Ceci est lié à l'influence déterminante du profil de toxicité des substances actives, qui diffèrent entre les stratégies initiales et celles co-conçues pour réduire l'usage.
- Les impacts d'une stratégie varient fortement selon les compartiments environnementaux considérés. De surcroît, selon le compartiment, ce ne sont pas les mêmes substances actives qui contribuent le plus fortement aux impacts estimés. Il est donc très difficile d'identifier une gamme de substances actives, qui tout en assurant une protection phytosanitaire optimale, limite significativement les impacts environnementaux sur un ensemble d'organismes non cibles.
- L'adoption de stratégies de protection phytosanitaire particulières aux parcelles proches d'habitation telles que conçues dans le projet est un moyen pertinent pour limiter significativement les risques de contamination des riverains aux zones viticoles. Il est aussi montré que ce levier peut être très positivement complété par l'emploi de méthodes de pulvérisation anti-dérives (buses anti-dérives, panneaux récupérateurs) mais cela suppose des investissements ad hoc.

### ***Des limites identifiées aux travaux menés***

- Un certain nombre de leviers de réduction d'usage n'ont pas été intégrés dans les stratégies co-conçues ou leur évaluation malgré leur bénéfique potentiel en termes de réduction d'usage ou d'impact des PP. A l'échelle de l'exploitation, on peut notamment citer l'investissement dans des pulvérisateurs plus performants. Malgré un intérêt net pour ce levier, les joueurs du jeu sérieux ne l'ont in fine pas adopté car les subventions proposées n'étaient pas suffisantes en regard de l'investissement requis. A l'échelle territoriale les rôles tampons des fossés et des haies vis à vis de la contamination des eaux et de l'atmosphère, bien qu'envisagées par les joueurs, n'ont pu être considérés dans l'analyse environnementale réalisée car les capacités d'évaluation quantitative de leurs bénéfices nécessitent encore d'être confortées.
- L'évaluation environnementale n'a porté que sur les molécules mères et n'a donc pas intégré les risques de contamination liés aux produits de dégradation, dont certains présentent également des toxicités ou éco-toxicités significatives. Il n'y a pas eu non plus d'évaluation des transferts érosifs des molécules du fait des limites actuelles de la modélisation environnementale appliquée.

## Conclusion

- Le projet Rip-Viti a développé une approche originale visant à réfléchir à des stratégies durables d'évolution des pratiques à l'échelle d'un territoire viticole hétérogène afin de réduire l'usage et l'impact des produits phytosanitaires. Le projet s'est appuyé sur une démarche prospective, basée sur une approche participative et des méthodes de modélisation du fait de l'impossibilité d'expérimentation réelle à une échelle territoriale.
- Le projet indique des possibilités d'évolution très positives des systèmes de production. Les évolutions correspondent essentiellement à ce stade à des ajustements des systèmes de culture mais sans réelle rupture dans la conception des systèmes. Or, les évolutions envisagées ne sont pas suffisantes pour permettre le respect de toutes les normes environnementales en cours. Une phase d'évolution supplémentaire est donc à étudier avec les acteurs de terrain pour intégrer des leviers de réduction complémentaires ou réfléchir à de nouveaux systèmes de production en réelle rupture avec les précédents. Cela imposera toutefois aussi de prendre en compte les possibilités d'évolution du contexte économique, ce qui n'a pas été réalisé dans ce projet.
- L'analyse effectuée permet aussi d'anticiper certains impacts environnementaux potentiels des substances en cours d'usage. Leurs impacts ne sont pas observés à ce jour soit en raison des limites inhérentes aux réseaux d'observation soit parce que les substances concernées ne sont épandues que sur des surfaces encore mineures.

## Remerciements

Le projet RIPP-Viti est une action pilotée par les Ministères de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de la Santé et de la Prévention (MSP) et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français de la Biodiversité, dans le cadre de l'APR « Produits phytopharmaceutiques : de l'exposition aux impacts sur la santé humaine et les écosystèmes », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto II+.

L'équipe du projet RIPP-Viti remercie sincèrement les viticulteurs du bassin du Rieutord, la cave coopérative de Murviel les Béziers, l'EPTB Orb&Libron, les conseillers de la Chambre Agricole de l'Hérault et de l'AOP Saint-Chinian pour leur accueil sur le terrain et leur aide précieuse lors des différentes étapes du projet. Nous remercions aussi les représentants de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, de Captages d'Eauccitanie et de la Chambre d'Agriculture Occitanie pour leur participation au comité de pilotage du projet.

Enfin, le projet RIPP-Viti a bénéficié de nombreuses contributions permanentes ou plus ponctuelles. Nous remercions donc l'ensemble des personnes concernées, présentées ici par ordre alphabétique : A. Benmimou, N. Beudez, C. Charlet, G. Coulouma, D. Crevoisier, R. De Lange, X. Devos, M. Djouhri, J. Dollinger, C. Doré, J.-C. Fabre, M. Faucher, H. Fernandez-Mena, L. Garcia, A. Garsia, S. Grimbuhler, O. Huttel, C. Jean-Louis, F. Lafolie, P. Lagacherie, B. Loubet, S. Negro, E. Personne, A. Samouëlian, C. Schneider, A. Sicard, A. Thoni, S. Troaino, N. Van Hanja, F. Vinatier.

## Références

- 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>

- Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.N., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I., Voltz, M., 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Expertise scientifique collective INRA-Cemagref, 902p.
- 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>)
- 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, 407 pages.
- 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>.
- 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>
- 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.



## Des stratégies de réduction des usages et impacts des pesticides co-construites à l'aide d'un jeu sérieux

Laure HOSSARD<sup>1</sup>, Claire SCHNEIDER<sup>1</sup>, Marc VOLTZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Montpellier, INRAE, CIRAD, Institut Agro, UMR Innovation, F-34060, Montpellier, France

<sup>2</sup> Université de Montpellier, AgroParisTech, INRAE, IRD, Institut Agro, UMR LISAH, F-34060, Montpellier, France

Contact : laure.hossard@inrae.fr

### Introduction

La réduction de la pollution par les pesticides est un objectif des politiques agricoles dans plusieurs pays européens. Ceci peut passer par la réduction de l'utilisation des pesticides, ou de l'impact environnemental associé à cette utilisation. Plusieurs leviers sont disponibles pour diminuer ces pollutions : mettre en place des zones tampons ou des haies, modifier les pratiques agricoles, et réfléchir à la répartition spatiale des pratiques dans le paysage. Concernant la réduction des impacts, les haies peuvent par exemple intercepter la dérive liée à la pulvérisation des pesticides (Lazzaro *et al.*, 2008) ; la gestion des fossés de collecte des eaux de ruissellement peut accroître la rétention des herbicides (Dollinger *et al.*, 2017).

En termes de pratiques agricoles, les principaux leviers dépendent de la cible (adventices, champignons, insectes). La réduction de l'utilisation des herbicides se fait principalement par la destruction mécanique (travail du sol) et l'enherbement. Cependant, ces options peuvent être limitées par le type de sol, la pente et le type d'adventices, elles impliquent également des temps de travail et des coûts supplémentaires. Les méthodes alternatives de lutte contre les insectes comprennent les observations et l'utilisation d'agents de biocontrôle (prédateurs, phéromones pour la confusion sexuelle). Les produits de biocontrôle peuvent également être utilisés pour réduire l'application de fongicides, tout comme l'utilisation de variétés résistantes aux maladies, ou l'usage d'outils d'aide à la décision pour optimiser les traitements (Pertot *et al.*, 2017). Un autre levier concerne les appareils de pulvérisation, qui peuvent contribuer à diminuer la quantité de pesticides appliqués en améliorant la précision et l'efficacité d'application (Pergher et Petris, 2008 ; van de Zande *et al.*, 2008).

Les solutions optimales combinent souvent des leviers coordonnés dans le temps et dans l'espace. Cependant, elles se heurtent toutes à des obstacles qui limitent leur adoption par les agriculteurs. Par exemple, les agents de biocontrôle souffrent d'une efficacité variable liée à des facteurs climatiques, aux techniques d'application et aux coûts (Lamichhane *et al.*, 2017). Si des solutions existent, elles ont jusqu'à présent été pensées cible par cible. Dans le cadre du projet ECOPHYTO Ripp-Viti (voir présentation Voltz *et al.* dans ce séminaire), notre objectif était de construire, par une approche participative avec des viticulteurs et d'autres acteurs du conseil et de la filière, des stratégies de diminution des usages et impacts des pesticides, considérant toutes les cibles et des contextes d'exploitation variables tels que rencontrés sur un territoire viticole.

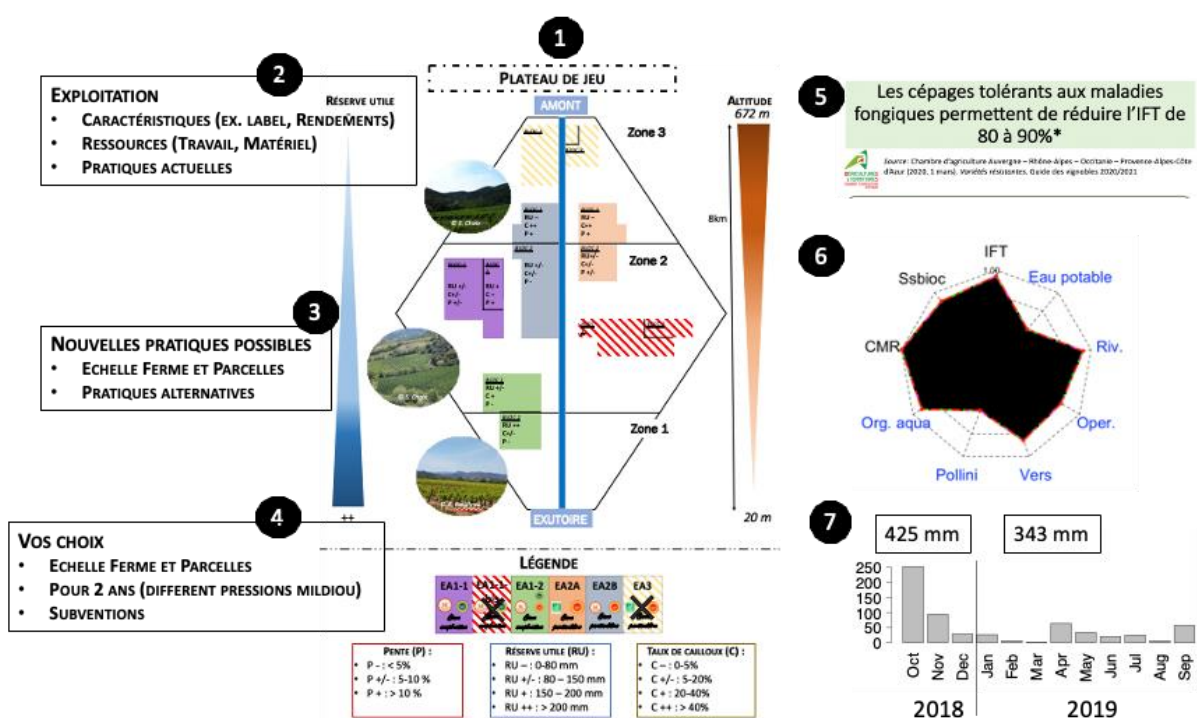
### Un jeu sérieux pour réfléchir aux changements de pratiques

Pour réfléchir à des 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 (**Figure 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.



**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 îlots différents : l'un proche d'habitations, les deux autres différents par leurs types de sol, pente, réserve utile, etc. Nous présenterons ici pour illustrer notre démarche uniquement les résultats pour une année "sèche", et en distinguant l'îlot proche des habitations des autres îlots. Le



jeu a été utilisé avec un groupe d'experts (DRAAF, Syndicat AOP, Chambre Agriculture, Agence de l'Eau, chercheurs) et avec deux groupes de viticulteurs.

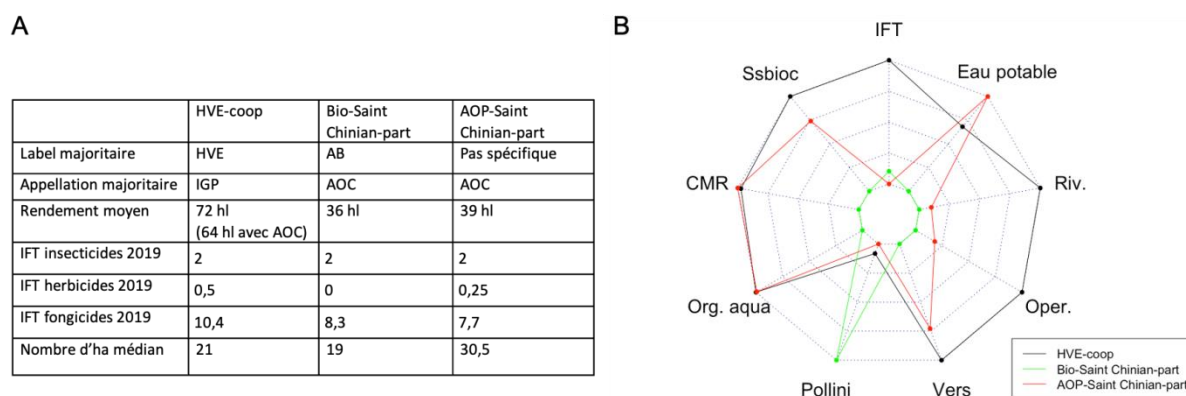
## Des exploitations viticoles diverses aux marges de manœuvre contrastées

### Caractéristiques initiales

Dans le jeu, nous avons distingué quatre types d'exploitations viticoles :

- HVE en coopérative 100% IGP ou mixte IGP-AOP (HVE-coop)
- Agriculture Biologique en cave particulière en AOP Saint Chinian (Bio-Saint Chinian-part)
- Sans label en cave particulière en AOP Saint Chinian (AOP-Saint Chinian-part)
- 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) (**Figure 2**). L'impact potentiel plus fort de l'exploitation Bio-Saint Chinian-part sur les pollinisateurs est lié à l'usage important du soufre. A noter que ces exploitations ne représentent pas les mêmes surfaces sur le bassin versant, le type d'exploitation HVE-coop représentant la majorité des parcelles (environ 59% des surfaces). Du fait des faibles surfaces représentées par les exploitations Bio-Faugères, celles-ci n'ont pas été jouées.



**Figure 2. Présentation des exploitations types. A) Principales caractéristiques ; B) Performances initiales**

### Leviers de changement co-construits avec les acteurs

Les participants de la filière 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 îlots, 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 1<sup>ère</sup> alternative, basée sur Performance Vigne (CA34), consiste à adopter un programme de traitement éliminant les CMR. La 2<sup>ème</sup> alternative, intitulée "Raisonné +", consiste à appliquer des règles de décision basées sur des

observations fines et la météo. La 3<sup>ème</sup> alternative vise le passage en Bio, avec le programme de traitement du type d'exploitation Bio-Saint Chinian-part. La 4<sup>ème</sup> 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 5<sup>ème</sup> alternative porte sur l'utilisation de cépages tolérants, ce qui réduit fortement le nombre de traitements. Pour l'îlot habitation, 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).

### Stratégies construites par les acteurs

La majorité des joueurs ont construit des stratégies combinant des changements dans la gestion insecticide, herbicide et fongicide. Les stratégies construites par les joueurs ont été plus ambitieuses pour l'îlot proche des habitations, et dans le groupe d'experts sur la réduction des herbicides et des fongicides.

Dans les trois sessions de jeu, presque tous les joueurs viticulteurs (sauf deux joueurs de HVE-coop sur 6), ont décidé de mettre en place une haie. Tous les joueurs viticulteurs se sont mis d'accord avec leurs "voisins" pour adhérer à un GDON, leur permettant ainsi de réduire leur nombre de traitements contre la cicadelle, sur tous leurs îlots. Tous les joueurs ont décidé d'enherber leurs tournières sur toutes leurs parcelles. Tous les joueurs (sauf 2 sur 11) ont également décidé de se former aux réglages du pulvérisateur. La 2<sup>ème</sup> formation la plus demandée a concerné la gestion des maladies fongiques, avec des formations sur l'usage des produits de biocontrôle ou la gestion en Bio. La majorité des joueurs souhaitait adapter ou changer son pulvérisateur (buses ou panneaux récupérateurs), mais souhaitait des subventions pour cela. Les demandes de subvention étaient très variables, avec davantage de demandes de la part des joueurs du groupe d'experts, pour arrêter les herbicides, passer au Bio ou enherber. Sur les 11 viticulteurs des trois sessions de jeu, sept ont décidé de faucher leurs fossés, un de les brûler et trois de ne pas les gérer.

Pour le type d'exploitation HVE-coop, 4 joueurs (sur 7) décident de maintenir leurs pratiques de désherbage du rang habituelles sur leurs îlots principaux, et deux joueurs également sur l'îlot proche des habitations. Les autres joueurs optent soit pour l'arrêt du glyphosate (1 joueur du groupe experts), ou pour réduire à un passage de glyphosate. Tous les joueurs décident de moins labourer (-1 à -2 passages) et d'enherber leur inter-rang ( $\frac{1}{4}$  ou  $\frac{1}{2}$ ), sur tout ou partie de leur exploitation. Concernant les modes de gestion fongiques, les sept joueurs ont réalisé des choix très différents, avec des modifications majeures (ex. conversion en AB pour un joueur du groupe experts sur la majorité de l'exploitation ; variétés résistantes sur toute l'exploitation pour un joueur viticulteur local). Un joueur viticulteur a décidé de ne pas changer ses pratiques, les autres à passer en 0 CMR ou en Raisonné+. Trois des joueurs de cette exploitation font un effort plus sensible sur l'îlot en bord d'habitations : variétés résistantes et Bio+.

Pour le type d'exploitation Bio-Saint Chinian-part, un seul joueur a utilisé cette exploitation (groupe experts). Ce joueur a décidé de ne pas modifier son mode de protection fongique, jugeant le mode Bio+ trop risqué. Il décide d'enherber une partie de son exploitation un rang sur quatre.

Pour le type d'exploitation AOP-Saint Chinian-part (3 joueurs), un joueur décide de maintenir ses pratiques de désherbage sur le rang, sauf sur la parcelle proche des habitations où il réduit d'un passage. Les deux autres joueurs choisissent soit de réduire d'un passage sur toute l'exploitation, soit d'arrêter les herbicides sur toutes les exploitations (joueur du groupe d'experts). Tous les joueurs décident de baisser leur nombre de labours (1), un joueur d'enherber l'ensemble de son exploitation ( $\frac{1}{2}$ ) et un joueur uniquement l'îlot en bordures d'habitations ( $\frac{1}{4}$ ). Concernant la protection fongique, deux joueurs choisissent le mode de gestion 0 CMR ou Raisonné+ sur toute leur exploitation, le 3<sup>ème</sup>

joueur étant plus ambitieux sur l'îlot proche des habitations (Bio+ vs. Raisonné+ sur le reste de son exploitation).

A l'échelle du bassin, l'agrégation des stratégies construites par les joueurs amène, pour chacune des trois sessions de jeu, à des améliorations des impacts potentiels, en considérant uniquement la nature et 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 des IFT (-39% en moyenne).

## Conclusions et perspectives

En résumé, 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 fongiques, souvent plus ambitieux sur les îlots proches des habitations. On note cependant un gradient dans ces stratégies, certaines amenant à une certaine rupture, comme la conversion au Bio (1 joueur de HVE-coop), et le passage à des cépages résistants (3 joueurs de HVE-coop, dont un sur toute l'exploitation); ou encore l'arrêt du glyphosate (1 joueur de HVE-coop et 1 joueur de AOP-Saint-Chinian, tous deux du groupe d'experts).

Si les stratégies construites par les joueurs restent "virtuelles", celles-ci ont été jugées réalistes ou partiellement réalistes par les joueurs, sous réserve, pour certaines, de subventions. Certains 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 panneaux récupérateurs (manœuvrabilité, coût, temps de travail), et le passage au Bio (pertes de rendement, temps de travail, label trop "rigide"). Les joueurs ont cité trois principaux avantages au jeu : l'importance des échanges dans un temps propice, le temps accordé à une réflexion sur des changements de pratiques et la visualisation des effets potentiels de ces changements, participant ainsi à la co-création de connaissances. Une perspective concerne la mise à jour et le déploiement du jeu, actuellement en cours de réflexion avec la Chambre d'Agriculture de l'Hérault, notamment pour mieux représenter la diversité des types d'exploitation, revoir les modes de gestion fongique, pour créer un outil de réflexion collective au service du changement de pratiques.

## Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet Ripp-Viti qui est une action pilotée par les Ministères de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de la Santé et de la Prévention (MSP) et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français de la Biodiversité, dans le cadre de l'APR « Produits phytopharmaceutiques : de l'exposition aux impacts sur la santé humaine et les écosystèmes », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Écophyto II+. Nous remercions l'équipe Ripp-Viti pour leurs apports sur le jeu. Nous remercions tous les experts et les viticulteurs qui ont participé à cette étude et aussi en particulier l'EPTB Orb et Libron.

## Références

- Dollinger et al 2017. *Agric. Water Manag.* 193: 191–204. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.013>.  
Hossard et al 2022. *J. Clean. Prod.* 380: 134913. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134913>  
Lamichhane et al 2017. *Pest Manag. Sci.* 73 (1): 14–21. <https://doi.org/10.1002/ps.4423>.  
Lazzaro et al 2008. *Agric. Ecosyst. Environ.* 123 (4): 317–327. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.009>.  
Pergher et Petris 2008. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. Manuscript ALNARP 08 011 X.  
Pertot et al 2017. *Crop Protect.* 9:, 70–84. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.025>.  
Van de Zande et al 2008. *Environmentalist* 28 (1): 9–17. <https://doi.org/10.1007/s10669-007-9036-5>.



## Evaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles

C. DAGÈS<sup>1</sup>, M. VOLTZ<sup>1</sup>, D. CREVOISIER<sup>1</sup>, C. BEDOS<sup>2</sup>, N. BEUDEZ<sup>3</sup>, F. LAFOLIE<sup>3</sup>, E. PERSONNE<sup>2</sup>, G. COULOUMA<sup>1</sup>, M. DJOUHRI<sup>1</sup>, J.-P. DOUZALS<sup>4</sup>, J.-C. FABRE<sup>1</sup>, M. FAUCHER<sup>1</sup>, C. JEAN-LOUIS<sup>1</sup>, B. LOUBET<sup>2</sup>, P. LAGACHERIE<sup>1</sup>, L. PRÉVOT<sup>1</sup>, A. THONI<sup>1</sup>, F. VINATIER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 2 place Viala, 34060 Montpellier, France

<sup>2</sup> UMR ECOSYS, Uni. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon France

<sup>3</sup> UMR EMMAH, Avignon Université, INRAE, 84914 Avignon Cedex 9, France

<sup>4</sup> UMR ITAP, Uni. Montpellier, INRAE, Institut Agro, F-34060, Montpellier, France

**Contact** : cecile.dages@inrae.fr

La réduction des usages des produits phytosanitaires (PP) de synthèse est un objectif de nombreuses politiques publiques dans les pays européens en raison des impacts environnementaux constatés de ces usages. Ainsi, le plan Ecophyto en France ou le projet de pacte vert européen (Green Deal) ont intégré des objectifs chiffrés de réduction des usages des PP de l'ordre de 50%. Le lien entre réduction d'usage et réduction d'impact, qui est l'objectif réel recherché, n'est toutefois pas trivial au plan scientifique. D'une part, il y a un débat en cours sur la manière même de quantifier la réduction des usages. Le débat porte tant sur la référence initiale considérée que sur les indicateurs à considérer, tels que NODU, IFT, HRI. D'autre part, l'impact ne dépend pas seulement de la dose appliquée ou du nombre de traitements, mais aussi des propriétés intrinsèques des substances actives épandues (mobilité et dégradabilité dans l'environnement, toxicité vis à vis des organismes non cibles), et des conditions de milieu dans la zone d'épandage. Ainsi, même s'il est pertinent, de manière générale, de supposer qu'une réduction d'usage conduit à une réduction d'impact, l'intensité de cette dernière est actuellement difficile à apprécier sans analyser de manière approfondie les influences spécifiques des propriétés des substances actives utilisées et des conditions locales du territoire concerné. A cet effet, nous développons depuis plusieurs années une modélisation, nommée MIPP, simulant les processus de dispersion des pesticides depuis leur lieu d'épandage vers l'écosystème avoisinant afin d'estimer l'évolution de leurs concentrations dans les compartiments sol, eau et air à l'échelle d'un paysage viticole.

Dans le cadre du projet Ecophyto RIIPP-Viti (Voltz et al. dans ce séminaire), nous avons appliqué la modélisation MIPP à l'évaluation des impacts environnementaux de stratégies de protection phytosanitaire et de gestion des sols visant la réduction de l'usage des PP en viticulture méridionale (voir Hossard et al. dans ce séminaire). Nous présentons ici les principes de l'évaluation ainsi que les résultats majeurs en termes de risques d'exposition des organismes du sol, des organismes aquatiques et de risques sur la potabilité de l'eau. L'évaluation des risques d'exposition par voie aérienne de riverains des parcelles traitées est présentée dans un autre exposé (Bedos et al. dans ce séminaire).

### La modélisation de l'exposition aux pesticides dans les compartiments sol, eau et air.

La modélisation MIPP initiée par un consortium d'Unités Mixtes de Recherche INRAE (Voltz *et al.*, 2021) décrit mathématiquement les processus majeurs de dispersion et de rémanence des substances phytosanitaires. Il permet ainsi de représenter l'évolution temporelle et spatiale des concentrations en pesticides dans le sol, les eaux superficielles et l'air à l'échelle d'un territoire hétérogène au plan des caractéristiques de milieu (nature des sols, parcellaire, réseau

hydrographique, relief) et de gestion agricole (gestion des sols, programme de traitements phytosanitaires). Il s'agit à ce stade d'un modèle de recherche car 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.

### La démarche menée d'évaluation des impacts

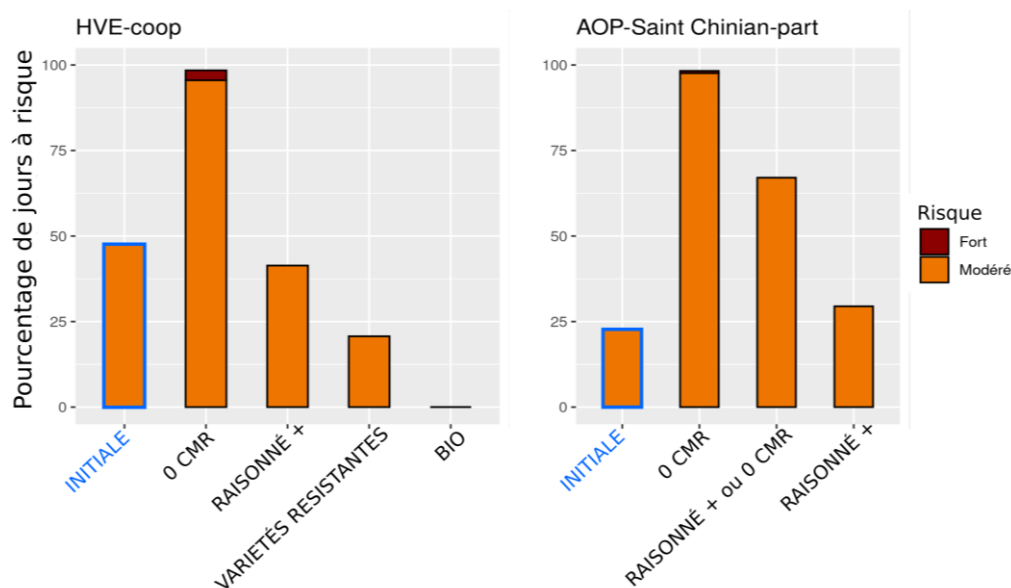
La modélisation précédente a été appliquée pour simuler l'impact environnemental pour les exploitations viticoles du bassin du Rieutort (Hérault) (voir description dans Voltz et al dans ce séminaire) de leurs stratégies de protection phytosanitaire et de gestion des sols. Deux types de stratégies ont été considérées : celles initiales enquêtées pour les saisons culturales 2019 et 2020 et celles co-construites par approche participative pour identifier des stratégies permettant une réduction des usages et des impacts des PP par type d'exploitation viticole (voir Hossard et al. dans ce séminaire). Pour chaque type d'exploitation (HVE coop, AOP-Saint-Chinian-part et Bio-Saint-Chinian-part), plusieurs stratégies de réduction d'usage ont été co-construites. Elles sont identifiées de manière simplifiée dans la suite selon leur mode de protection fongique 0 CMR, Raisonné+, Bio, Bio+, variétés résistantes. Elles se différencient toutefois également par d'autres leviers adoptés concernant la protection contre les insectes, la gestion des sols, l'implantation et la gestion d'infrastructures paysagères (haies, fossés), les techniques de pulvérisations. Elles sont décrites par Hossard et al. dans ce séminaire. Pour les évaluations d'impact à l'échelle du bassin du Rieutort, nous avons considéré que toutes les stratégies co-construites étaient plausibles et avons donc supposé que leur implémentation sur les territoires occupés par chaque type d'exploitation était équiprobable. L'évaluation a été menée pour 20 années climatiques afin de rendre compte de la variabilité de l'impact en fonction des conditions climatiques extrêmement variables en milieu Méditerranéen. Les substances pesticides considérées dans l'évaluation d'impact sont les substances organiques de synthèse ; leurs métabolites n'ont pas été intégrés dans l'analyse à ce stade. Les substances de bio-contrôle et le soufre n'ont pas été évalués car supposés avoir un impact environnemental faible. Les substances à base de cuivre ne l'ont pas été non plus car le cuivre est déjà présent en grande quantité dans les sols viticoles ce qui rend difficile l'évaluation des impacts spécifiques dues aux apports actuels ou envisagés.

### Risques d'impact sur les organismes du sol

L'impact est mesuré par le nombre de jours pendant lesquels en moyenne à l'échelle annuelle ces organismes sont confrontés dans la couche du sol à des concentrations de PP proches (risque modéré) ou supérieures (risque élevé) aux concentrations seuil à partir desquelles un risque d'impact biologique est supposé possible au regard des références expérimentales actuelles. La **figure 1** montre la variabilité du nombre de jours estimés par modélisation pour les stratégies initiales et les stratégies de réduction d'usage des PP identifiées par jeu sérieux sur les sols des 2 types d'exploitations du bassin du Rieutort pour lesquelles un risque au moins modéré a été estimé. Il faut toutefois préciser que les risques estimés ne concernent que les substances actives synthétiques et donc que les risques liés à l'utilisation du cuivre, notamment en AB, n'ont pas été quantifiés dans la mesure où toutes les types d'exploitation y sont confrontés par l'important stock de cuivre existant dans les sols viticoles.

On observe que le risque d'impact biologique est très majoritairement modéré en ce qui concerne les organismes du sol. Il est très similaire pour les exploitations HVE-coop et AOC-St-Chinian. Il est évidemment inexistant pour les exploitations en AB en ce qui concerne les substances de synthèse. La comparaison effectuée montre également dans le cas des organismes du sol que la réduction d'usage, qui est manifeste en termes d'IFT, ne se traduit pas nécessairement par une réduction de risque. On peut noter notamment que les stratégies excluant l'usage de substances CMR présentent un risque accru pour les organismes du sol car cela a entraîné 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 fortement aux risques d'impact sont le glyphosate et la spiroxamine.



**Figure 1. Pourcentage annuel moyen de jours à risque écotoxique modéré ou fort pour les organismes du sol selon les stratégies initiales ou les stratégies co-construites de réduction d'usage des PP synthétiques pour les exploitations viticoles de type HVE-coop et AOP-Saint Chinian-part.** (N.B. ne considérant ici que les substances de synthèse, le risque estimé pour les exploitations en AB est nul et donc non représenté).

### Contamination des eaux et risques d'impacts sur les ressources en eau potables

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 ce sont elles qui par infiltration sont susceptibles d'affecter la qualité des captages d'eau potable situées à l'exutoire du bassin.

On observe dans la **figure 2** une forte variabilité inter-annuelle des contaminations de l'eau en lien avec la forte variabilité des cumuls de pluie. En effet, 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. On observe aussi que pour la grande majorité des années la contamination est au-dessus de 0,5 µg/L qui constitue la limite fixée de potabilité des eaux. Cela signifie que les eaux superficielles issues du territoire viticole exercent potentiellement une pression polluante continue sur les captages qu'elles rechargent. Cette pression ne peut toutefois aboutir à une contamination problématique du captage que si la recharge par les eaux du Rieutort est prépondérante par rapport à d'autres sources de recharge peu ou pas contaminée.

La mise en place des stratégies de réduction des usages spécifiques à chaque type d'exploitation du bassin du Rieutord limite significativement la contamination des eaux, qui en termes de concentration est diminuée en moyenne de 35% (**figures 2 et 3**). 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 (**figure 3**). 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 folpet, le fluopicolide et le tebuconazole.

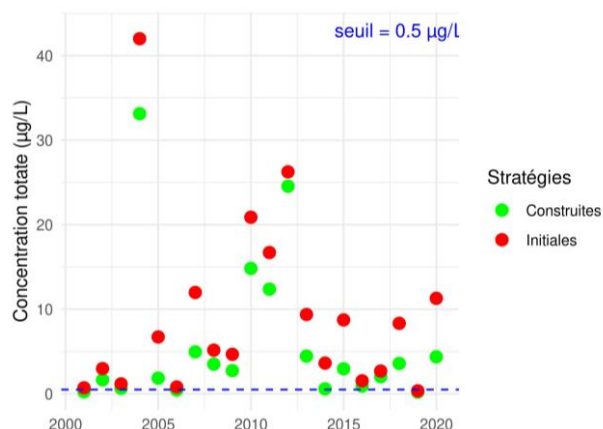


Figure 2. Evolution inter-annuelle simulée de la concentration totale moyenne en substances actives de synthèse dans les eaux superficielles du bassin du Rieutord selon les stratégies initiales des exploitations (points verts) ou les stratégies co-construites par approche participative (points rouges).

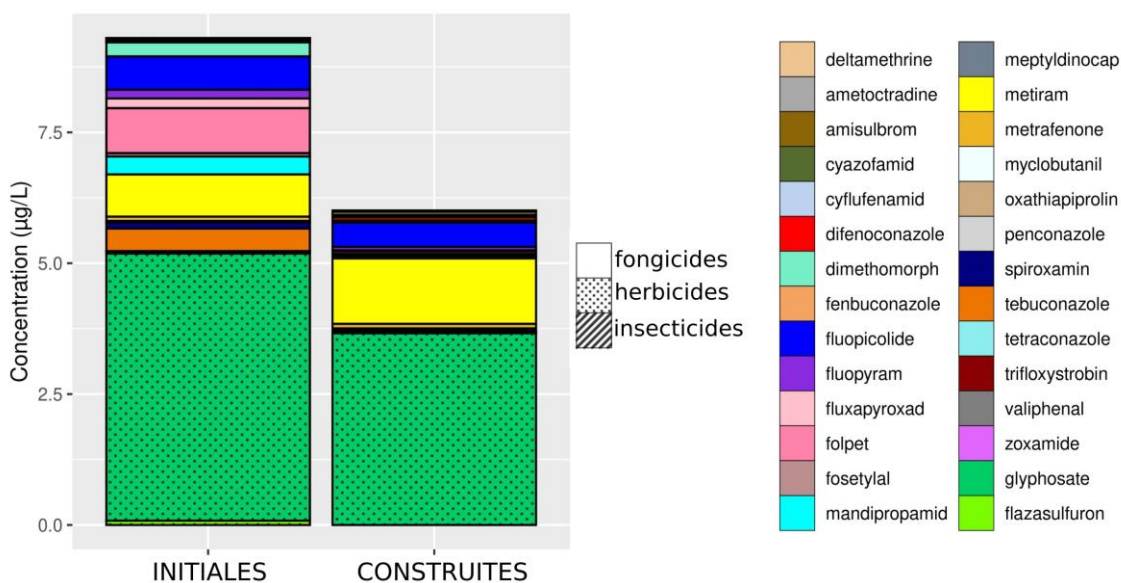


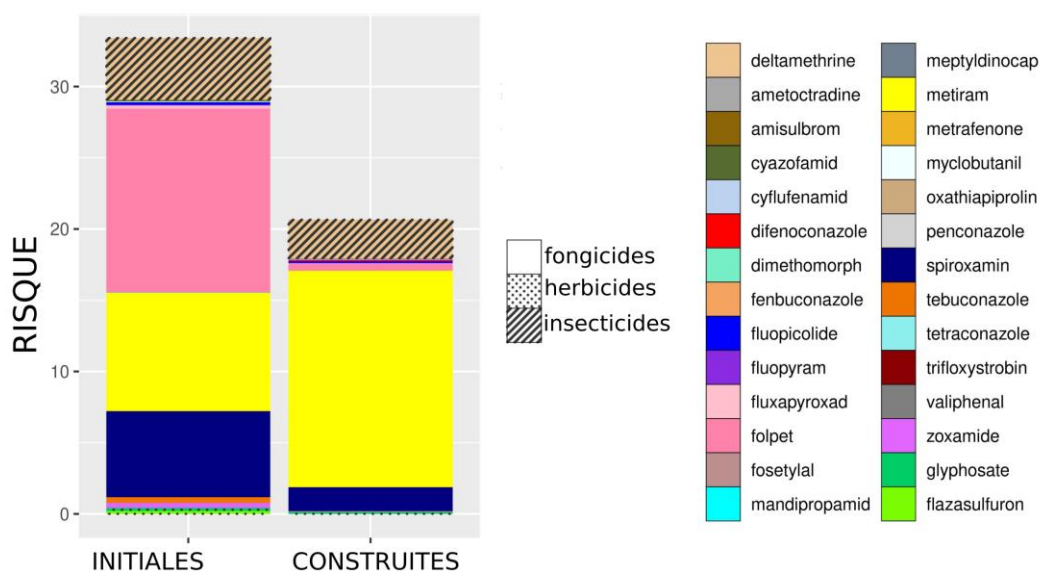
Figure 3. Contribution des différentes classes de substances actives aux concentrations totales simulées dans les eaux superficielles du bassin du Rieutord pour les stratégies de protection phytosanitaire initiales des exploitations ou les stratégies co-construites par approche participative.

### Contamination des eaux et risques d'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 déterminés en laboratoire. 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 4** indique que les risques d'impact biologique sont très élevés bien supérieur 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 metiram, folpel, spiroxamine, deltaméthrine. A nouveau, les stratégies de réduction des usages minimisent le risque sans toutefois l'éliminer.



**Figure 4. Risque estimé d'impact biologique sur les organismes aquatiques de la contamination des eaux par les substances phytosanitaires de synthèse épanchées sur le bassin du Rieutort selon les stratégies initiales des exploitations ou les stratégies de réduction envisagées par approche participative.**

### Conclusions : messages-clefs

- Les stratégies actuelles de protection phytosanitaires en viticulture conventionnelle présentent un risque modéré d'impact biologique sur les organismes du sol, mais un risque élevé d'impact sur les organismes aquatiques et un risque élevé sur la potabilité des ressources en eau.
- Les réductions d'usage telles qu'envisagées par une approche participative conduisent à des changements d'impact environnemental variable. Pour la contamination des ressources aquatiques, elles 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 d'environ 39%. Mais cette réduction n'est pas suffisante car les risques de contamination des eaux et d'impact sur les organismes aquatiques restent élevés. Pour les organismes du sol, les réductions d'usage envisagées sont plutôt défavorables en raison des substitutions de molécules opérées.
- Les substances actives problématiques en termes d'impacts écotoxicologiques ne sont pas les mêmes selon la cible biologique ce qui rend délicat le choix des substances pour un objectif de préservation de l'environnement.
- En climat méditerranéen, l'évaluation de l'impact environnemental des pratiques phytosanitaires devrait être menée de manière pluri-annuelle pour éviter un biais d'évaluation lié à la variabilité climatique forte et la variabilité consécutive des risques de contamination des eaux entre années. La modélisation peut aider à cela.

---

## Remerciements

Le projet RIPP-Viti est une action pilotée par les Ministères de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de la Santé et de la Prévention (MSP) et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français de la Biodiversité, dans le cadre de l'APR « Produits phytopharmaceutiques : de l'exposition aux impacts sur la santé humaine et les écosystèmes », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto II+. Les auteurs remercient Colette Bertrand (INRAE – ECOSYS) et Clémentine Fritsch (CNRS – Chronoenvironnement) pour leurs conseils sur la démarche d'évaluation du risque pour les organismes du sol.

## Références

- INERIS, 2011. Méthodologie utilisée pour la détermination de normes de qualité environnementale (NQE). Rapport d'étude DRC-11-118981-08866A
- Voltz M., Bedos C., Crevoisier, D., Dagès C., Djouhri M., Fabre J.C., Lafolie F., Loubet B., Personne E., Bankwal P., Barriuso E., Benoit P., Brunet Y., Casellas E., Chabrier P., Chambon C., Chataignier M., Douzals J.P., Drouet J.L., Mamy L., Moitrier N., Pot V., Raynal H., Ruelle B., Samouëlian A., Saudreau M. 2021. Modélisation Intégrée du devenir des Pesticides dans les Paysages agricoles. Colloque annuel de la Société d'Ecotoxicologie Fondamentale et Appliquée, 28-29 juin 2021, <https://hal.inrae.fr/hal-03303236>.

# Évaluation de l'exposition humaine à la dérive de pulvérisation à la proximité de parcelles viticoles

**Carole BEDOS<sup>1</sup>, David CREVOISIER<sup>2</sup>, Cécile DAGÈS<sup>2</sup>, Jean-Paul DOUZALS<sup>3</sup>, Marc VOLTZ<sup>2</sup>, Benjamin LOUBET<sup>1</sup>, Meriem DJOUHRI<sup>2</sup>, C. JEAN-LOUIS<sup>2</sup>, Sonia GRIMBUHLER<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> UMR ECOSYS, Uni. Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, 91120 Palaiseau France

<sup>2</sup> UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 2 place Viala, 34060 Montpellier, France

<sup>3</sup> UMR ITAP, Univ. Montpellier, INRAE, Institut Agro, F-34060, Montpellier, France

**Contact** : carole.bedos@inrae.fr

## 1. Introduction

L'exposition aux pesticides des professionnels, des riverains de zones agricoles et de la population générale suscitent de nombreuses inquiétudes, ainsi que rappelé par une récente expertise scientifique (Inserm, 2021). Cette exposition peut avoir lieu par ingestion en lien avec la contamination des produits alimentaires, mais aussi par contact cutané ou par inhalation en lien avec la contamination de l'environnement. Pour les riverains, l'INSERM (2021) signale notamment une influence de la proximité des zones agricoles sur la contamination par les pesticides du lieu de vie. Toutefois cette influence semble variable selon les substances, leur mode d'application et les matrices environnementales ou biologiques considérées pour estimer l'exposition.

Les transferts de composés *via* l'atmosphère sont donc une source d'exposition des riverains et des passants<sup>1</sup>, et ceux-ci peuvent avoir lieu pendant l'application par dérive aérienne des gouttelettes de pulvérisation (plus de 90% des applications ayant lieu par pulvérisation ; Aubertot *et al.*, 2005) ou en post application par volatilisation depuis la surface traitée voire enfin par érosion éolienne (van den Berg *et al.*, 1999). Il est communément admis que la dérive peut représenter entre 15 et 40% des quantités appliquées (Mamy *et al.*, 2022). Les facteurs influençant la dérive de pulvérisation sont connus, ils se déclinent en 4 catégories : (1) les caractéristiques de la bouillie dépendant de la formulation, de la présence d'adjuvants; (2) la technique de pulvérisation utilisée incluant le type de pulvérisateur, la vitesse d'avancement, les buses utilisées, la pression, l'orientation de buses, la vitesse d'éjection des gouttes à la sortie des buses, la granulométrie des gouttes; (3) la culture traitée et son stade de développement, qui vont conditionner le degré d'interception de la bouillie pulvérisée selon la hauteur, la porosité, et la structure de la végétation et (4) les conditions météorologiques comme l'intensité du vent, l'humidité de l'air, la stabilité atmosphérique ou la température de l'air. Quant à la volatilisation, elle représente de 0,1% de la dose appliquée jusqu'à quelques dizaines de % dans certaines conditions (Guiral *et al.*, 2016). Il faut noter que les temporalités des processus de dérive de pulvérisation et de volatilisation sont très différentes : la dérive de pulvérisation a lieu pendant l'application, alors que la volatilisation peut durer plusieurs jours à semaines après l'application. De même, l'état des composés diffère : le composé sera sous forme de gouttelettes voire de gaz lors de l'application puis essentiellement de gaz voire sous forme particulière après l'application.

Cet exposé porte sur l'évaluation de l'exposition de passants présents lors du traitement d'une parcelle viticole. Il présente en premier des ordres de grandeur d'exposition évalués suite à des

---

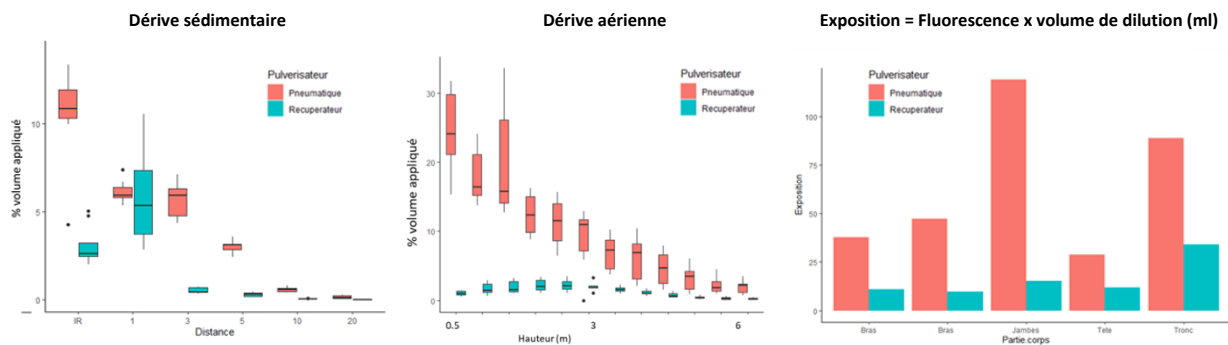
<sup>1</sup> On distingue en général le promeneur pouvant se trouver ponctuellement sous le vent d'une parcelle en cours de traitement et le riverain qui vit à proximité de zones de traitements.

pulvérisations réalisées avec deux types de pulvérisateurs au niveau de performance contrasté. Il compare ensuite par modélisation le risque d'exposition de passants pour l'ensemble des traitements relatifs aux différentes stratégies de protection phytosanitaire identifiées par jeu sérieux dans le cadre du projet Ripp-Viti (Hossard et al., 15<sup>ème</sup> JSVV) pour les parcelles proches d'habitations. Les résultats sont illustrés pour trois stratégies : 1) la stratégie initiale des exploitations type HVE-coop, 2) la stratégie OCMR et 3) la stratégie Variétés Tolérantes.

## 2. Évaluation de la dérive et de l'exposition en fonction de la distance et du type de pulvérisateur

Nous présentons ici une campagne de mesure réalisée dans le cadre du projet RIPP-Viti. Cette campagne a porté sur la comparaison de la dérive de pulvérisation de deux pulvérisateurs : un pulvérisateur pneumatique « standard » (référence des pratiques locales) et un pulvérisateur « performant » à panneaux récupérateurs après une application d'une solution avec traceur sur une portion de parcelle. L'évaluation des pertes par dérive de pulvérisation et de l'exposition qui en découle comprend en aval de la parcelle traitée :

- la mesure des dépôts au sol à 2, 5, 10 et 20 m de la parcelle traitée
- une estimation de la dérive aérienne *via* l'interception des gouttelettes transportées par le vent par des fils horizontaux disposés entre 0,5 et 6 m de haut à 5 m de la parcelle traitée
- une estimation de l'exposition des passants *via* l'interception des gouttelettes sur les différentes parties du corps d'un mannequin à 5 m de la parcelle traitée.

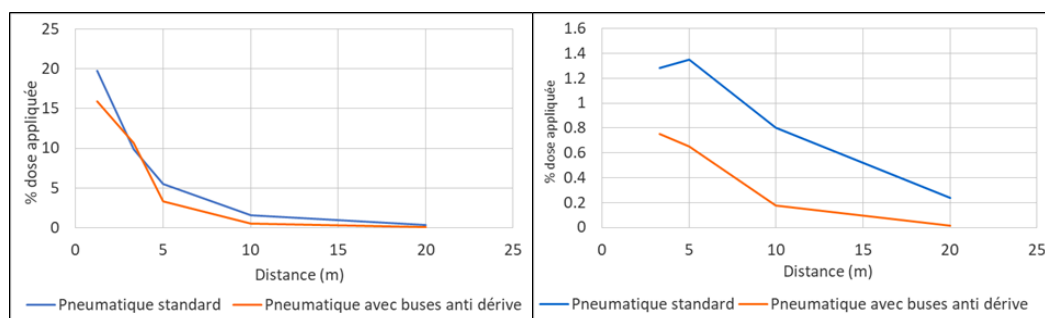


**Figure 1. Dépôts au sol (gauche, en % du volume surfacique déposé par rapport au volume surfacique appliqué sur la parcelle), sur fils disposés à 5m de la parcelle traitée (milieu, en % du volume surfacique déposé par rapport au volume surfacique appliqué sur la parcelle) et sur mannequins (droite, unités de fluorescence par ml) mesurés pour un pulvérisateur pneumatique et un pulvérisateur à panneaux récupérateurs (avec traceur).**

La **figure 1** illustre la forte efficacité du pulvérisateur à panneaux récupérateurs pour réduire les dépôts au sol en aval de la parcelle traitée ainsi que l'exposition du passant quelle que soit la partie du corps considérée (bras, jambe, tête, tronc) avec un taux de réduction évalué globalement à 73% et variant de 34% pour le tronc à 86% pour les jambes.

En complément de ces résultats expérimentaux, nous présentons un des jeux de données obtenus dans le cadre du projet CAPRIV (Sellam *et al.*, 2023) dans le contexte viticole pour une application avec traceur sur le dispositif expérimental de l'UMT ECOTECH constitué d'une vigne artificielle (EVASPRAY VITI) soumise à un mur de vent artificiel (EOLEDRIFF) (Sage *et al.*, 2021). Ce jeu de données porte sur l'étude de l'efficacité de l'adaptation de buses anti-dérive sur un pulvérisateur

pneumatique (**Figure 2**) à limiter la dérive, évaluée à différentes distances de la parcelle traitée (3, 5, 10 et 20 m). On voit comme précédemment la forte diminution des dépôts au sol et cutanés avec la distance et aussi l'influence très positive de l'utilisation de buses anti-dérive.



**Figure 2. Données expérimentales obtenues dans le cadre du projet CAPRIV (Sellam *et al.*, 2022) pour le pneumatique standard et le pneumatique équipés de buses anti dérive (à gauche) les dépôts au sol en fonction de la distance à la parcelle traitée (en % du volume surfacique déposé par rapport au volume surfacique appliqué sur la parcelle), (à droite) les dépôts sur le torse (en % du volume surfacique déposé par rapport au volume surfacique appliqué sur la parcelle).**

### 3. Modélisation du risque d'exposition de passants à l'échelle d'une saison culturale en fonction des stratégies phytosanitaires adoptées

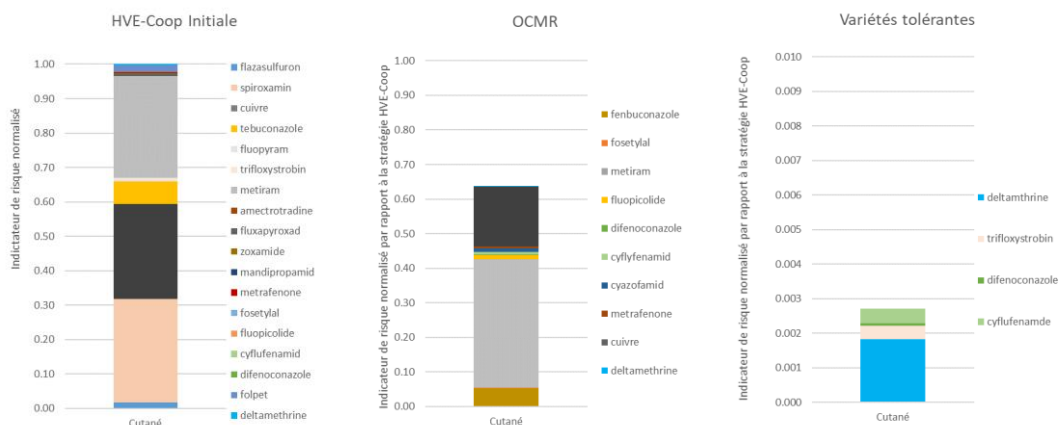
Le modèle ADDI-SprayDrift (Djourhi *et al.*, 2023) simule le devenir et le mouvement dans l'espace des gouttelettes de pesticides après pulvérisation à l'échelle d'une parcelle viticole. Il englobe un certain nombre de processus clés identifiés dans la littérature : évaporation de l'eau de la gouttelette, 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 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. Le dépôt cutané des gouttelettes sur des personnes est calculé et l'exposition qui en découle prend en compte un % de pénétration dermale 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. Le seuil AOEL, disponible dans les bases de données usuelles (Ineris, <https://substances.ineris.fr/fr/>; PPDB, <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/>), représente le niveau acceptable d'exposition des opérateurs par poids corporel et par jour toutes voies d'exposition confondues et donc y compris par ingestion. Le % de pénétration a aussi été relevé dans ces bases de données<sup>2</sup> en sélectionnant la valeur haute afin d'estimer le risque maximal.

Une première étape a vérifié la pertinence des simulations de dispersion d'ADDI-SprayDrift en comparant les résultats du modèle ADDISprayDrift aux mesures issues du projet CAPRIV pour le pulvérisateur pneumatique standard avec et sans buses anti-dérive illustrées en **figure 2** (Sellam *et al.*, 2023). Un bon accord a été trouvé que cela soit pour l'ordre de grandeur et la décroissance des

<sup>2</sup> Une actualisation a été faite pour la spiroxamine et la cyazofamide

dépôts au sol avec la distance à la parcelle traitée ou l'interception par les mannequins (en distinguant les bras et le torse).

Dans une deuxième étape, le modèle a été appliqué pour estimer les dépôts cutanés sur 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-construites dans le cadre du projet RIPP-Viti pour les parcelles proches d'habitations. Nous illustrons ci-dessous les résultats obtenus pour les stratégies suivantes : 1) la stratégie initiale HVE-coop comportant 23 traitements sur l'année 2020, 2) la stratégie OCMR comportant 14 traitements sur la même année et 3) la stratégie « variétés tolérantes » qui a comporté pour l'année 2020, 4 traitements. Pour les simulations, des conditions météorologiques fixes ont été considérées, et le développement culturel 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.



**Figure 3. Indicateurs de risque normalisés par l'indicateur cumulé de la stratégie initiale HVE-Coop et contribution des substances calculés pour une exposition cutanée de passants situés à 5 m de la parcelle traitée dans le cas de la stratégie Initiale HVE-Coop (gauche), OCMR (milieu) et « variétés tolérantes » (figure de droite, attention, échelle des ordonnées différente).**

La **figure 3** présente pour les stratégies étudiées le cumul des indicateurs de risque des molécules appliquées par chaque stratégie. 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. La **figure 3** montre ainsi que les stratégies OCMR et Variétés tolérantes diminuent l'indicateur de risque relativement à la stratégie initiale et ce, très nettement pour la stratégie Variétés tolérantes, montrant l'intérêt de stratégies alternatives pour limiter l'exposition des riverains dans les parcelles proches des habitations.

Par ailleurs, la **figure 3** montre la contribution des différents composés à l'exposition globale cutanée d'un passant à l'échelle d'une saison culturale pour les différentes stratégies. Selon ces résultats de modélisation, les composés participant le plus à l'exposition sont :

- pour la stratégie initiale : la spiroxamine, le cuivre, le metiram et la tebuconazole, ces quatre composés participant à 94% de l'indicateur cumulé. Ces composés sont appliqués tôt dans la saison (notamment le cuivre appliqué à 4 reprises dont 2 fois en début de saison), et donc à un stade de développement de la vigne précoce favorisant la dérive. Ils présentent un seuil AOEL assez bas et des taux de pénétration relativement élevés.

- pour la stratégie OCMR : le metiram, le cuivre et le fenbuconazole en lien avec leur AOEL relativement faible ou un % de pénétration relativement élevé, ces trois composés contribuant à 94% de l'indicateur cumulé
- pour la stratégie "variété tolérante" : la deltaméthrine est le composé participant le plus à l'indicateur (à hauteur de 67% de l'indicateur global), la deltaméthrine présentant le seuil AOEL le plus bas et le % de pénétration le plus élevé des quatre composés. Aucun effet du stade de croissance n'est observé, les quatre composés étant appliqués dans un créneau de 2 semaines.

Ainsi, l'indicateur cumulé de risque, pour un pulvérisateur donné et des conditions météorologiques données, est conditionné par l'AOEL, le taux de pénétration dermique du composé, l'intensité d'usage ainsi que le stade de la culture au moment du traitement, des traitements en stade précoce générant plus de pertes par dérive et donc plus d'exposition.

#### 4. Discussion et conclusions

Les travaux issus du projet ont permis la conduite d'expérimentations et le déploiement d'un modèle récemment développé pour évaluer l'exposition de passants à la dérive de pulvérisation par dépôt cutané et inhalation. Les résultats confirment un effet majeur du matériel de pulvérisation utilisé : type de pulvérisateur, types de buses. Comme attendu, un effet de la distance à la parcelle traitée est observé en matière d'exposition, avec une décroissance significative de cette dernière avec la distance, confirmant ainsi l'intérêt de maîtriser les zones à protéger des zones de traitements. Les indicateurs de risque calculés identifient les composés les plus contributeurs, en lien avec leur toxicité, leur capacité à pénétrer dans le corps ainsi que le stade de développement de la culture au moment du traitement, et bien sûr leur niveau d'utilisation.

Les résultats de modélisation montrent le gain très appréciable que l'on peut attendre en adaptant des stratégies de protection phytosanitaire sur les parcelles proches d'habitations afin de réduire le risque d'exposition. Il faut noter toutefois que, si les indicateurs de risque calculés par modélisation permettent de comparer le risque d'exposition consécutif à l'application de substances ou de stratégies phytosanitaires complètes, ils ne permettent pas à ce stade de déterminer un risque absolu. Or la connaissance de ce dernier est nécessaire pour identifier par exemple la distance des parcelles traitées à laquelle le risque d'exposition à la dérive deviendrait négligeable. En effet, les calculs effectués par modélisation présentent plusieurs limites dont les suivantes. Au niveau des processus d'exposition, seule l'exposition dermique par dérive a été illustrée ici, elle doit donc être complétée par l'estimation de l'exposition par inhalation lors du traitement. L'exposition en post-traitement par volatilisation des produits doit également être considérée, ainsi que préconisé par les auteurs du projet OBO<sup>3</sup> mené aux Pays-Bas en proximité de champ de bulbes (Figueiredo *et al.*, 2022; Vermeulen *et al.*, 2019), cette voie de transfert ayant également clairement identifiée comme participant à la contamination atmosphérique par (Prévost *et al.*, 2022) lors du projet Repp'Air<sup>4</sup>. De surcroît, les contaminations ont été comparées aux seuils acceptables d'ingestion chronique, seule référence disponible pour l'ensemble des molécules, alors qu'il s'agirait sans doute de regarder aussi par rapport à des seuils d'ingestion aiguë. Enfin, une situation réaliste de passants ou riverains n'est pas prise en compte, puisque l'indicateur cumulé calculé suppose de fait la présence d'un même passant à tous les traitements d'une saison culturale.

Pour finir, nous souhaitons souligner que d'autres leviers peuvent être mobilisés pour limiter les pertes par dérive de pulvérisation et donc l'exposition des passants et riverains. Outre l'évolution des

<sup>3</sup> <https://www.rivm.nl/en/news/better-insight-into-local-residents-exposure-to-pesticides>

<sup>4</sup> <https://grandest.chambre-agriculture.fr/agro-environnement/qualite-de-lair/reppair-suivi-des-produits-phytosanitaires-dans-lair/>

programmes de traitements ou l'utilisation de buses anti-dérive et le confinement, la gestion du traitement des rangs en bord de parcelle ou selon la face des rangs de vigne sous le vent, la mise en place de haies ainsi que la combinaison de leviers doivent être considérés (Sellam *et al.*, 2023).

Enfin, la campagne PestiRiv SpF/ANSES menée en 2018/2019 à la demande de la Direction Générale de la Santé, dont les résultats seront disponibles en 2024, devrait apporter un éclairage sur cette potentielle surexposition des riverains en zones viticoles.

## Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet Ripp-Viti qui est une action pilotée par les Ministères de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de la Santé et de la Prévention (MSP) et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français de la Biodiversité, dans le cadre de l'APR « Produits phytopharmaceutiques : de l'exposition aux impacts sur la santé humaine et les écosystèmes », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Écophyto II+. Nous remercions également le Domaine de l'Arjolles, Adrien Verges et Sébastien Codis (IFV), Olivier Naud (INRAE) pour la caractérisation des pulvérisateurs et les données du projet CAPRIV (coordonné par M. Sellam, ACTA) ainsi que Alain Dupuy et Armel Thoni pour le codage informatique du modèle ADDIspraydrift et son optimisation sur la plateforme logicielle OpenFLUID.

## Références

- Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I., Voltz, M., 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France).
- Djohri, M., Loubet, B., Bedos, C., Douzals, J.P., Dagès, C., Voltz, M., 2023. ADDI-Spray : A comprehensive model of pesticide spray drift with an assessment in vineyards. *Biosystems Engineering* 57–77.
- 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.
- Figueiredo, D.M., Vermeulen, R.C.H., Jacobs, C., Holterman, H.J., van de Zande, J.C., van den Berg, F., Gooijer, Y.M., Lageschaar, L., Buijtenhuijs, D., Krop, E., Huss, A., Duyzer, J., 2022. OBOMod - Integrated modelling framework for residents' exposure to pesticides. *Science of The Total Environment* 825, 153798. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153798>
- Guiral, C., Bedos, C., Ruelle, B., Basset-Mens, C., Douzals, J.P., Cellier, P., Barriuso, E., 2016. Les émissions de produits phytopharmaceutiques dans l'air. Facteurs d'émissions, outils d'estimation des émissions, évaluations environnementales et perspectives de recherche – Rapport Complet. Ademe.
- Inserm, 2021. Pesticides et effets sur la santé : Nouvelles données. (EDP Sciences), Collection Expertise collective. INSERM, Montrouge.
- Mamy, L., Pesce, S., Sanchez, W., et al., 2022. Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques. Rapport de l'expertise scientifique collective (Research Report). INRAE ; IFREMER. <https://doi.org/10.17180/0gp2-cd65>
- Prévost, L., Chrétien, E., Pierlot, F., Soule, E., Bockstaller, C., Bedos, C., 2022. Comprendre le devenir des phytos dans l'atmosphère. *Phytoma* 42–46.
- Sage K., Codis S., Ribeyrolles X., Lienard A., Trinquier E., Bonicel J.F., Bastidon D., Douzals J.P., Naud O., Vergès A., 2021. EoleDrift: an innovative test bed to measure vertical drift and compare sprayers and practices according to drift risks. 4th SIMA AgriTech Day by Axema, 28/10/21, Nantes.
- Sellam, M., Bedos, C., Douzals, J.P., Grimhler, 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 CAPRIV).
- van den Berg, F., Kubiak, R., Benjey, W.G., Majewski, M.S., Yates, S.R., Reeves, G.L., Smelt, J.H., van der Linden, A.M.A., 1999. Emission of pesticides into the air. *Water, Air, and Soil Pollution* 195–218.
- Vermeulen, R.C.H., Gooijer, Y.M., Hoftijser, G.W., Lageschaar, L.C.C., Oerlemans, A., Scheepers, P.T.J., Kivits, C.M., Duyzer, J., Gerritsen-Ebben, M.G., Figueiredo, D.M., Huss, A., Krop, E.J.M., van den Berg, F., Holterman, H.J., Jacobs, C., Kruijne, R., Mol, J.G.J., Wenneker, M., Van de Zande, J.C., Sauer, P.J.J., 2019. Research on exposure of residents to pesticides in the Netherlands OBO flower bulbs.



# DEXiPM Vigne®, un outil pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture viticoles

Raphaël METRAL<sup>1</sup>, Cécile SCHNEIDER<sup>2</sup>, Rosan De LANGE<sup>2</sup>, Aurélie METAY<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR ABSys, Univ Montpellier, INRAE, CIRAD, CIHEAM-IAMM, Institut Agro, Montpellier, France

<sup>2</sup> UMR Innovation, Univ Montpellier, INRAE, CIRAD, Institut Agro, Montpellier, France

Contact : raphael.metral@supagro.fr

## 1. Introduction

La production viticole est confrontée à des défis dus à une utilisation intensive de pesticides liée notamment à la monoculture, entraînant une forte pression des maladies et des ravageurs. Les cépages populaires de raisin sont sensibles aux attaques de champignons, d'insectes et aux maladies du bois (Mian *et al.*, 2023 ; Reineke et Thiéry, 2016 ; Bertsch *et al.*, 2013). En 2016, les vignobles français avaient un indice de fréquence de traitement moyen hors biocontrôle (IFT) de 13,5 nettement supérieur à celui du blé (TFI 4,9 en 2017) (Fouillet *et al.*, 2022). La viticulture intensifiée par l'irrigation, les engrais et la mécanisation, présente des risques pour les eaux souterraines, l'air, le sol et la santé humaine (Gil *et al.*, 2011 ; Zambito Marsala *et al.*, 2020 ; Otto *et al.*, 2024 ; Komarek *et al.*, 2010). La production viticole est également sensible aux changements climatiques (Aguilera *et al.*, 2022 ; Hofmann, Lux, et Schultz, 2014 ; Reineke et Thiéry, 2016). Pour relever ces défis, une transition vers des systèmes viticoles à faible intrant est urgente. Pretty *et al.* (2018) soulignent l'importance de la reconception des systèmes à mesure que les conditions écologiques et économiques évoluent. Dans cette étude, l'outil DEXiPM (DEcision eXpert for integrated Pest Management), conçu pour les cultures arables (Pelzer *et al.*, 2012) et adapté aux vignes (Gary *et al.*, 2015), est utilisé pour évaluer la durabilité à travers les trois piliers : économique, social et environnemental des systèmes à faible intrant co-conçus. Le bassin versant du vignoble de Rieutort (France, Hérault) a été utilisé comme étude de cas, adoptant une approche participative avec les parties prenantes locales (Hossard *et al.*, 2022). Des entretiens avec les viticulteurs ont caractérisé la zone et son utilisation de produits phytosanitaires (Schneider, 2020). Un jeu de rôle *ad hoc* a été utilisé pour concevoir des stratégies de changement pour les pratiques agricoles. La nature qualitative du modèle DEXiPM Vigne permet l'évaluation de systèmes de culture innovants et virtuels (Vasileiadis *et al.*, 2013). Les stratégies sont simulées à l'aide de DEXiPM Vigne pour évaluer la durabilité et comparées avec les situations initiales. Cet article se concentre sur les simulations DEXiPM Vigne et leurs résultats, dans le but d'identifier des systèmes viticoles durables prometteurs pour une adoption régionale plus large.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1 Types d'exploitations viticoles considérées

Les données de l'enquête menée dans le bassin versant du Rieutord 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 des agriculteurs (utilisation de pesticides, gestion des rangs, inter-rangs et des tournières de parcelle, gestion des fossés).

La présente étude considère 4 types d'exploitations viticoles (tels que définis dans Hossard *et al.*, (2022)) :

- **“Exploitation viticole HVE coopérative mixte”** (HVE-Coop mixte) : 21 ha, cave coopérative, label Haute Valeur Environnementale (HVE), 75% IGP et 25% AOP. Rendement moyen : 65 hl/ha.
- **“Exploitation viticole HVE coopérative 100% IGP”** (HVE-Coop 100% IGP) : 21 ha, label HVE, cave coopérative, 100% IGP. Rendement moyen : 72 hl/ha. Ce type sera nommé par la suite.
- **“Exploitation en cave particulière AB Saint Chinian”** (Bio-Saint Chinian-Part) : 19 ha, label Agriculture Biologique (AB), cave privée, majorité vendue en bouteilles, 100% AOP. Rendement moyen : 36 hl/ha.
- **“Exploitation viticole en cave particulière AOP Saint Chinian”** (AOP-Saint Chinian-Part) : 30,5 ha, pas de label, cave privée, moitié en bouteilles - moitié en vrac, 100% AOP. Rendement moyen : 39 hl/ha.

La plupart des exploitations viticoles avaient des pratiques similaires pour la gestion des insectes ravageurs, des tournières de parcelle et des fossés, et la plupart n'avaient pas d'installation de haies (tableau 1). **Les exploitations viticoles en coopérative mixte, en coopérative 100% IGP et les exploitations viticoles en cave particulière AOP Saint Chinian** avaient des pratiques similaires pour la gestion des rangs, des inter-rangs et des maladies. Les exploitations **en cave particulière AB Saint Chinian travaillent** moins le sol, gèrent les rangs avec un désherbeur intercep et n'utilisent que des produits de protection des plantes approuvés en AB.

## 2.3 Évaluation de la durabilité des systèmes viticoles à faible intrant co-conçus

### 2.3.1 Présentation de l'outil DEXiPM Vigne

L'outil DEXiPM Vigne (Gary *et al.*, 2015) 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 (utilisation des ressources, biodiversité de la faune, etc.). Pelzer *et al.* (2012) explique la conception du modèle (choix et hiérarchie des indicateurs de base et agrégés, choix d'états qualitatifs pour les indicateurs, fonctions d'utilité/règles d'agrégation déterminant l'agrégation des indicateurs sur l'arbre et leur poids relatif). Entièrement qualitatif, le modèle utilise le jugement d'experts (ses 65 entrées sont décrites par des classes qualitatives : basse, moyenne, élevée) à partir de données, numériques ou autres, converties en classes qualitatives. Le modèle DEXiPM Vigne a été paramétré pour la région Languedoc et renseigné à partir des données d'enquêtes sur le bassin versant du Rieutort (Schneider, 2020).

### 2.3.2 Nombre de simulations

Les stratégies co-conçues en atelier (Hossard *et al.*, 2022) ont été simulées avec DEXiPM Vigne 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, pour éviter de simuler trop de stratégies souvent similaires, les 4 situations initiales et 7 stratégies co-conçues en atelier parmi les plus ambitieuses par type d'exploitation uniquement sur les îlots standard (distants des exploitations) ont été simulées. La stratégie la plus ambitieuse entre les deux blocs standard est également choisie, sauf si en raison du contexte d'une pratique elle n'est pas possible.

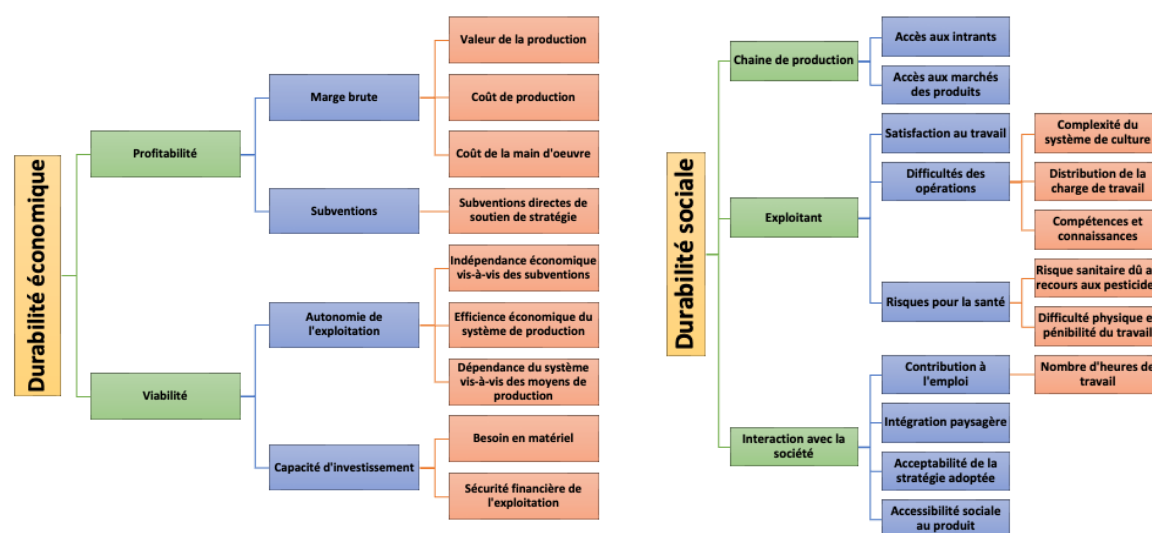
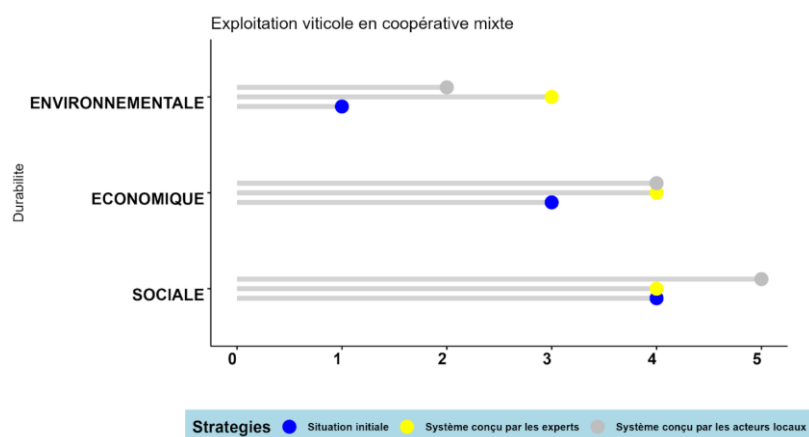


Figure 1. Décomposition des trois premiers niveaux des critères d'agrégation de la durabilité sociale et économique du modèle d'évaluation DEXiPM Vigne.

### 3. Résultats

#### 3.1 Durabilité des stratégies d'une exploitation viticole HVE en coopérative mixte

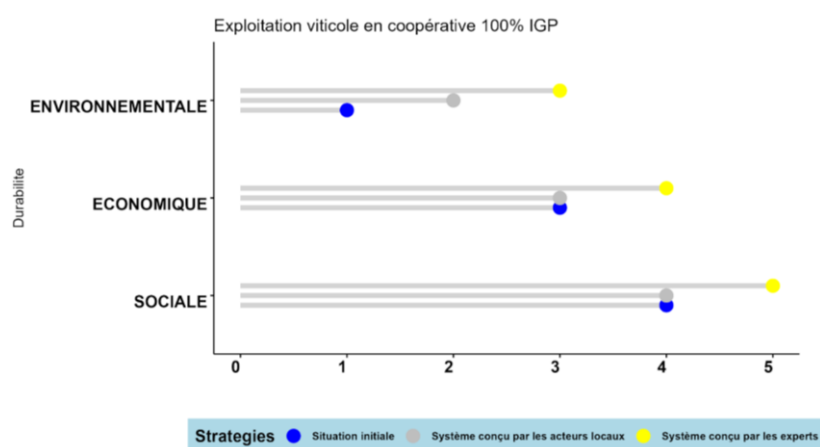
La situation initiale du type "Exploitation viticole HVE coopérative mixte" implique une utilisation élevée d'herbicides et de labour, et une utilisation moyenne de fongicides et d'insecticides. La ferme ne dispose pas de haies ni de couverture végétale importante (en surface et dans le temps) et présente des rendements élevés et un prix de vente bas. Pour atteindre des rendements élevés, la stratégie consiste à adopter des pratiques éliminant tous les risques de perte de rendement dus à des maladies ou à la concurrence avec des adventices grâce à des traitements préventifs et à un sol nu. D'après DEXiPM Vigne, la situation initiale a une évaluation faible sur le plan environnemental (1/5), moyenne sur le plan économique (3/5) et élevée sur le plan social (4/5) (Figure 2). La stratégie proposée lors de l'atelier d'experts améliore fortement la durabilité grâce au choix du passage sous label AB, avec le maintien d'une couverture végétale un inter-rang sur deux : la note environnementale passe de 1/5 à 3/5, la durabilité économique augmente de 3 à 4/5. L'amélioration de la durabilité économique pourrait s'expliquer par une moindre intervention mécanique (moins de travail du sol et un IFT plus bas) tout en maintenant un faible risque de perte de rendement. La durabilité sociale augmente d'une classe passant au maximum de 5/5. Les acteurs locaux ont converti l'exploitation en agriculture intégrée, réduisant l'utilisation de pesticides notamment des herbicides, sans impact a priori sur le prix de vente. Cette stratégie n'améliore que la durabilité environnementale (de 1 à 2/5), les durabilités économique et sociale restent au niveau de la situation initiale.



**Figure 2. Evaluation DEXiPM Vigne de la durabilité environnementale, économique et sociale des stratégies co-conçues par les experts (jaune) et les acteurs locaux (gris) pour les types de fermes "Exploitation viticole HVE en coopérative mixte".**

### 3.2 Durabilité des stratégies d'une exploitation viticole HVE en coopérative 100% IGP

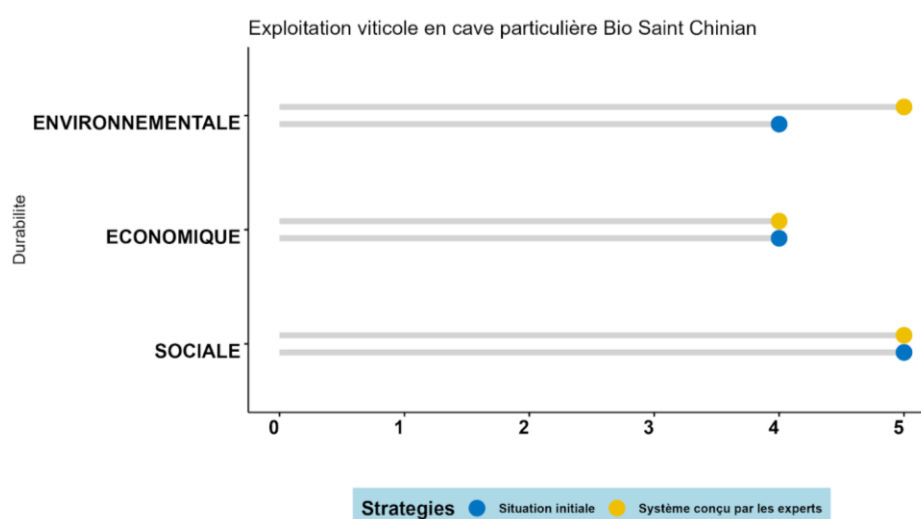
La situation initiale du type "Exploitation viticole HVE coopérative 100% IGP" est peu durable sur le plan environnemental (1/5) (Figure 3). La durabilité économique est évaluée comme moyenne et la durabilité sociale comme élevée. La stratégie initiale est identique à l'exploitation en coopérative mixte du groupe précédent (utilisation élevée d'herbicides et de labour et utilisation moyenne de fongicides et d'insecticides). La stratégie de l'atelier d'experts améliore l'évaluation de la durabilité environnementale de 1/5 à 3/5 (Figure 3). La durabilité économique est améliorée d'une classe passant de 3/5 à 4/5, également grâce au choix du passage sous label AB augmentant le prix de vente. Par contre la durabilité sociale baisse d'une classe en passant de 5/5 à 4/5. Acteurs locaux : L'ensemble des notes est amélioré par rapport à la situation initiale. L'ensemble de l'exploitation est planté avec des variétés résistantes. Cette stratégie des acteurs locaux améliore la durabilité environnementale d'une classe de 1 à 2/5. L'augmentation de la durabilité environnementale est due notamment à la diminution des indices IFT globaux des pesticides grâce à la plantation de variétés résistantes (baisse des fongicides) et en rejoignant un GDON (baisse des insecticides obligatoires pour la lutte contre la flavescence dorée). La durabilité économique (4/5) et la durabilité sociale (5/5) s'améliorent d'une classe par rapport à la situation initiale.



**Figure 3. Évaluation DEXiPM Vigne de la durabilité environnementale, économique et sociale des stratégies co-conçues par les experts (jaune) et les acteurs locaux (gris) pour les types de fermes "Exploitation viticole HVE en coopérative 100% IGP" par rapport à la situation initiale (bleue).**

### 3.3 Durabilité des stratégies d'une exploitation viticole en cave particulière AB Saint Chinian

La stratégie initiale du type “**Exploitation viticole en cave particulière AB Saint Chinian**” a une évaluation globale de durabilité très élevée (**Figure 4**) : durabilités environnementale et économique élevée (4/5) et évaluation très élevée de la durabilité sociale (5/5). Les facteurs clés de ces évaluations élevées sont le label biologique ainsi que la valorisation en cave particulière, permettant des prix de vente plus élevés compensant d'éventuelles pertes de rendement dues à la concurrence ou aux maladies. Ce type d'exploitation présente un risque plus élevé de perte de rendement par rapport aux précédentes exploitations (voir 3.1 et 3.2) avec une couverture végétale un inter-rang sur deux et une utilisation réduite de pesticides. Cependant, cela rend également plus durable cette situation sur le plan environnemental et social. L'agriculture biologique bénéficie également de subventions plus importantes ce qui peut également expliquer l'évaluation économique élevée. Seul le groupe d'experts a été sollicité pour re-concevoir un système dans cette situation. La nouvelle stratégie présente des pratiques améliorées avec une couverture végétale de 1 inter-rang sur 4 toute l'année et une réduction de l'utilisation d'insecticides en rejoignant un GDON (lutte contre la cicadelle dorée). Un investissement dans un meilleur équipement de pulvérisation permet de réduire également le risque de dérive des pesticides appliqués. La durabilité environnementale s'améliore ainsi d'une classe en atteignant le maximum de 5/5. La durabilité économique (4/5) et sociale (5/5) sont maintenues au niveau de la situation initiale déjà élevée et satisfaisante.



**Figure 4.** Évaluation DEXiPM Vigne de la durabilité environnementale, économique et sociale des stratégies co-conçues par les experts (jaune) pour les types de fermes “Exploitation viticole en cave particulière AB Saint-Chinian”.

### 3.4 Durabilité des stratégies d'une exploitation viticole en cave particulière AOP-Saint Chinian

Le type “**Exploitation viticole en cave particulière AOP-Saint Chinian**” présente une évaluation de durabilité environnementale moyenne (3/5), une évaluation de durabilité sociale très élevée (5/5) et une évaluation de durabilité économique élevée (4/5) (**Figure 5**). Les grandes caractéristiques de cette situation initiale sont la valorisation de la production en cave particulière (50% en bouteille et 50% en vrac), le sol des inter-rang est travaillé, avec le maintien d'un désherbage sous le rang, la mise en place de haies et d'une couverture végétale un inter-rang sur deux, mais seulement en hiver. La nouvelle stratégie co-conçue par le groupe d'experts permet un gain important de durabilité environnementale en portant la note à de 3 à 5/5 par rapport à la situation initiale. Il est proposé l'arrêt des herbicides sous le rang grâce à un investissement possible dans du matériel de gestion du sol sous le rang, l'enherbement des tournières et d'une partie des inter-rangs. La mise en place d'une protection mieux raisonner des traitements phytos (adhésion à un GDON pour limiter les traitements

insecticides contre la cicadelle de la flavescence dorée) couplée à l'acquisition d'un pulvérisateur à panneaux récupérateurs réduit l'impact (dérive) des pesticides dans cette stratégie de gestion. Cela conduit à des évaluations améliorées de DEXiPM Vigne. Toutes les stratégies d'experts améliorent l'évaluation environnementale de deux classes, passant de moyenne à très élevée. Les autres aspects de durabilité ne changent pas pour aucune stratégie. Les changements réduisent l'impact global des pratiques de l'exploitation sur l'environnement. La couverture végétale toute l'année diminue également le risque de compactage du sol et d'écoulement. La stratégie des acteurs locaux repose sur une protection raisonnée en réduisant à un seul passage herbicide l'entretien du rang et en supprimant le labour d'automne, un changement de pulvérisateur est envisagé (modèle à jet projeté). Aucune amélioration dans l'un des trois piliers de durabilité n'est cependant notée. La poursuite de l'utilisation d'herbicides, même avec une seule application, impacte fortement l'évaluation environnementale, car une application est considérée comme élevée dans cette région. Dans l'ensemble, l'impact sur l'environnement diminue, mais pas suffisamment pour être sensible avec DEXiPM Vigne. Dans l'ensemble, l'exploitation propose des améliorations pour une utilisation moindre de pesticides, mais cela ne se traduit pas par une amélioration de l'évaluation.

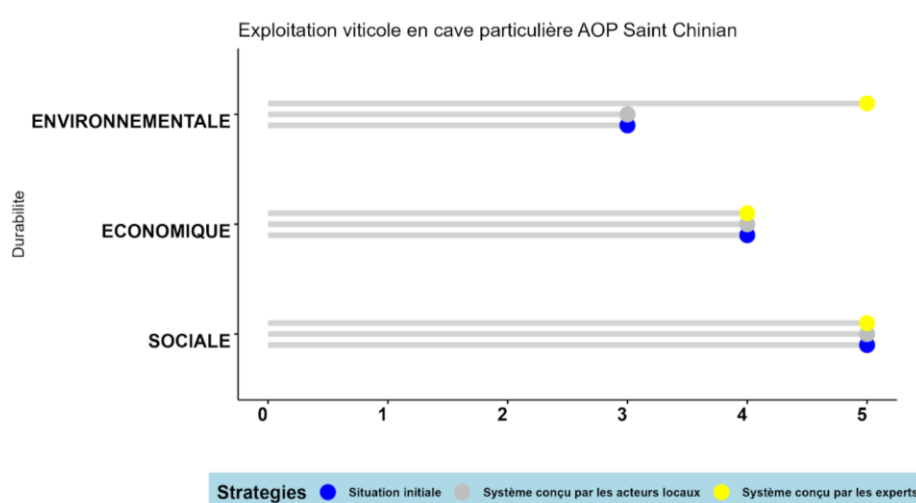


Figure 5. Évaluation DEXiPM Vigne de la durabilité environnementale, économique et sociale des stratégies co-conçues par les experts (jaune) pour les types "Exploitation viticole en cave particulière AOP Saint Chinian".

### 3.5 Analyse détaillée de la durabilité socio-économique des stratégies co-conçues pour chaque type d'exploitation viticole

Les **tableaux 1 et 2** présentés en annexe synthétisent les notes de durabilité économique et sociale des stratégies co-conçues et les comparent aux situations initiales.

Sur le plan économique, seules sont améliorées avec une classe de durabilité en plus passant de 3 à 4/5, les situations co-conçues du type "Exploitation viticole HVE en coopérative mixte" par les experts (4 critères améliorés sur 15) et les acteurs locaux (6 critères améliorés sur 15), et du type "Exploitation viticole HVE en coopérative 100% IGP" co-conçues par les experts (6 critères améliorés sur 15). La situation du type "Exploitation viticole HVE en coopérative 100% IGP" co-conçue par les acteurs locaux ne change aucun critère économique. Les deux situations co-conçues pour le type "Exploitation viticole en cave particulière AOP-Saint Chinian" améliorent 2 critères de profitabilité, la situation "Exploitation viticole en cave particulière Bio - Saint Chinian" améliore 3 critères, mais ne changent pas la note de durabilité économique globale.

Sur le plan social, seules sont améliorées avec une classe de durabilité en plus passant de 4 à 5/5, les situations co-conçues du type "Exploitation viticole HVE en coopérative mixte" les acteurs locaux (5 critères améliorés sur 18), et du type "Exploitation viticole HVE en coopérative 100% IGP" co-conçues

par les experts (5 critères améliorés sur 15). La situation du type "Exploitation viticole HVE en coopérative 100% IGP" co-conçues par les acteurs locaux ne change aucun critère social. Toutes les autres situations améliorent de 1 à 8 critères sur 15 mais ne changent pas la note de durabilité sociale globale. Cette durabilité est déjà très élevée (5/5) pour les situations initiales du type "Exploitation viticole en cave particulière Bio Saint Chinian" et du type "Exploitation viticole en cave particulière AOP-Saint Chinian". On note que le système conçu par les experts pour le type "Exploitation viticole en coopérative mixte" dégrade d'une classe le critère de Distribution de la charge de travail.

On remarque également que c'est le critère Risque pour la santé qui est le plus souvent amélioré d'une à deux classes par cinq stratégies co-conçues sur sept.

#### 4. Discussion

L'utilisation de DEXiPM Vigne a mis en avant une amélioration de la durabilité modeste, principalement sur le pilier environnemental pour tous les groupes d'exploitation. Pour les types "Exploitation viticole HVE en coopérative mixte", "Exploitation viticole HVE en coopérative 100% IGP" et "Exploitation viticole en cave particulière AOP Saint Chinian" au moins une stratégie co-conçue apporte un gain de deux classes de durabilité environnementale par rapport aux situations initiales. Pour le dernier type de fermes "Exploitation viticole en cave particulière Bio Saint Chinian" l'amélioration ne porte que sur une classe mais passe de 4 à 5/5 soit la note maximale de durabilité avec une situation initiale déjà élevée. L'ensemble des évaluations confirme les orientations favorables de réduction d'impact sur l'environnement des leviers choisis dans les ateliers participatifs, confirmant l'analyse faite par Hossard *et al.* (2022). Les deux types "Exploitation viticole HVE en coopérative 100% IGP" et "Exploitation viticole en cave particulière AOP Saint Chinian" voient leur durabilité économique et sociale améliorée par les stratégies re-conçues. Pour les autres types, elles sont uniquement maintenues mais étant parfois déjà très élevées elles étaient déjà très satisfaisantes. Ainsi les changements proposés ne dégradent jamais les performances économiques et sociales.

Les améliorations de durabilité sont plutôt obtenues dans les systèmes co-conçus par les experts que par les acteurs locaux (viticulteurs). Les experts intègrent peut-être moins la prise de risque représentée par le changement de pratiques et sont moins conservateurs dans leurs propositions. Les principaux changements de pratiques permettant la réduction des impacts environnementaux portent sur la suppression des herbicides et le développement de couverts végétaux sur les tournières de parcelles et sur une partie des inter-rangs ; la conversion en AB ou la suppression des produits CMR ; l'intégration d'outils pour l'aide aux décisions plus économes en traitements phytos (ex : règles de décision innovantes (Metral *et al.*, 2018) pouvant être formalisées dans des OAD comme Decitrait® (Davy *et al.*, 2020). On peut également citer le déploiement des nouvelles variétés résistantes au mildiou et l'oïdium qui permet une véritable rupture dans les pratiques, mais qui nécessite l'arrachage et la replantation de parcelles et s'inscrit par conséquent dans le temps long du renouvellement du vignoble sur une exploitation ou un territoire.

Toutefois, l'outil DEXiPM Vigne ne permet qu'une évaluation qualitative de la durabilité des systèmes et ne simule pas des évolutions de teneurs en produits phytosanitaires dans l'environnement (sol, air et eau) et des évolutions des rendements viticoles selon les stratégies proposées. Une étude complémentaire via des modèles mécanistes (MIPP par exemple, Dages *et al.*, 2024) permettra de préciser cible par cible les conséquences en termes d'impact de ces stratégies d'une part et sur l'évolution des rendements d'autre part.

## 5. Conclusion

L'adoption de pratiques viticoles à faibles impacts environnementaux nécessite la reconception des systèmes viticoles que ce soit à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation agricole ou du territoire. Le projet RippViti, soutenu de 2020 à fin 2023 par le plan Ecophyto II dans le cadre de ses appels à projets de Recherche et Innovation, a visé l'élaboration et l'évaluation de stratégies de réduction des usages des pesticides mais aussi des impacts à l'échelle d'un territoire viticole. Dans cette étude nous avons évalué la durabilité environnementale, économique et sociale des stratégies innovantes conçues à l'aide du modèle évaluation multicritère qualitatif DEXiPM Vigne. La majorité des évaluations montre une amélioration des performances environnementales sur les différents types de fermes du territoire étudié et cela sans dégrader la durabilité économique et sociale des systèmes de culture. L'adoption à large échelle des leviers agronomiques proposés permet d'envisager une réduction des impacts environnementaux des pratiques viticoles sur le bassin versant étudié.

## Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet Ripp-Viti qui est une action pilotée par les Ministères de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA), de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT), de la Santé et de la Prévention (MSP) et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR), avec l'appui financier de l'Office Français de la Biodiversité, dans le cadre de l'APR « Produits phytopharmaceutiques : de l'exposition aux impacts sur la santé humaine et les écosystèmes », grâce aux crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Écophyto II+.

## Références

- Aguilera P., Ortiz N., Becerra N., Turrini A., Gaínza-Cortés F., Silva-Flores P., Aguilar-Paredes A., Romero J.K., Jorquera-Fontena E., Mora M. de L.L., et Borie F. 2022. Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Vineyards: Water and Biotic Stress Under a Climate Change Scenario: New Challenge for Chilean Grapevine Crop. *Frontiers in Microbiology*. 13.
- Bertsch C., Ramírez-Suero M., Magnin-Robert M., Larignon P., Chong J., Abou-Mansour E., Spagnolo A., Clément C., et Fontaine F. 2013. Grapevine trunk diseases: complex and still poorly understood. *Plant Pathology*. 62(2), p. 243-265.
- Dagès C., Voltz M. 2024. Évaluation environnementale de stratégies de protection phytosanitaire viticoles. 15<sup>ème</sup> Journée scientifique Vigne et vin de Montpellier (7 mars 2024).
- Davy A., Raynal M., Vergnes M., Debord C., Codis S., Naud O., Deliere L., Davidou L., Fermaud M., Roudet J., Metral R., Bouisson Y., Guilbault P., Dupin S., Genevet B., Mahieux V., Baron M., et Perot S. 2020. Decitrait® : un OAD pour la protection de la vigne. Dans : *Innovations Agronomiques* [En ligne]. Disponible sur : < <https://hal.inrae.fr/hal-02983272> > (Consulté le 21 février 2024).
- Fouillet E., Delière L., Chartier N., Munier-Jolain N., Cortel S., Rapidel B., et Merot A. 2022. Reducing pesticide use in vineyards. Evidence from the analysis of the French DEPHY network. *European Journal of Agronomy*. 136, p. 126503.
- 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).
- Gil E., Llorens J., Landers A., Llop J., et Giralt L. 2011. Field validation of DOSAVINA, a decision support system to determine the optimal volume rate for pesticide application in vineyards. *European Journal of Agronomy*. 35(1), p. 33-46.
- Hofmann M., Lux R., et Schultz H.R. 2014. Constructing a framework for risk analyses of climate change effects on the water budget of differently sloped vineyards with a numeric simulation using the Monte Carlo method coupled to a water balance model. *Frontiers in Plant Science*. 5.
- Hossard L., Schneider C., et Voltz M. 2022. A role-playing game to stimulate thinking about vineyard management practices to limit pesticide use and impacts. *Journal of Cleaner Production*. 380, p. 134913.
- Komarek M., Cadkova E., Chrastny V., Bordas F., et Bollinger J.-C. 2010. Contamination of vineyard soils with fungicides: A review of environmental and toxicological aspects. *Environment International*. 36(1), p. 138-151.
- Metral R., Chevrier C., Bals N., Bouisson Y., Didier V., Enard C., Fremond N., Garin P., Gautier T., Genevet B., Goma-Fortin N., Guillois F., Ohl B., et Thiery J. 2018. DEPHY EXPE EcoViti Arc Méditerranéen : synthèse des résultats 2012-2017. Dans : *Innovations Agronomiques* [En ligne]. Disponible sur : < <https://hal.science/hal-02016727> > (Consulté le 21 février 2024).
- Mian G., Musetti R., Belfiore N., Boscaro D., Lovat L., et Tomasi D. 2023. Chitosan application reduces downy mildew severity on grapevine leaves by positively affecting gene expression pattern. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 125, p. 102025.



- Otto S., May B., Berkelmann-Löhnertz B., Kauer R., Wohlfahrt Y., Fader B., Schumacher S., Hofmann H., et Schweiggert R. 2024. Tracing the origins of phosphonate residues in organic vineyards: A novel analytical approach. *Scientia Horticulturae*. 327, p. 112757.
- 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.
- Pretty J., Benton T.G., Bharucha Z.P., Dicks L.V., Flora C.B., Godfray H.C.J., Goulson D., Hartley S., Lampkin N., Morris C., Pierzynski G., Prasad P.V.V., Reganold J., Rockström J., Smith P., Thorne P., et Wratten S. 2018. Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*. 1(8), p. 441-446.
- Reineke A. et Thiéry D. 2016. Grapevine insect pests and their natural enemies in the age of global warming. *Journal of Pest Science*. 89(2), p. 313-328.
- 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.
- Vasileiadis V.P., Moonen A.C., Sattin M., Otto S., Pons X., Kudsk P., Veres A., Dorner Z., van der Weide R., Marraccini E., Pelzer E., Angevin F., et Kiss J. 2013. Sustainability of European maize-based cropping systems: Economic, environmental and social assessment of current and proposed innovative IPM-based systems. *European Journal of Agronomy*. 48, p. 1-11.
- Zambito Marsala R., Capri E., Russo E., Bisagni M., Colla R., Lucini L., Gallo A., et Suci N.A. 2020. First evaluation of pesticides occurrence in groundwater of Tidone Valley, an area with intensive viticulture. *Science of The Total Environment*. 736, p. 139730.

## Annexes

**Tableau 1. Notes de durabilité des critères de niveau 2, 3 et 4 de durabilité sociale, d'après DEXiPM Vigne, pour chaque stratégie des exploitations viticoles considérées.** Une case vert clair correspond à une amélioration de la durabilité d'un point, vert moyen, de 2 points, une case jaune clair correspond à une dégradation de la durabilité pour le critère considéré de 1 point, par rapport à la situation initiale.

Critères de durabilité sociale	HVE en coopérative mixte IGP-AOP		HVE en coopérative 100% IGP		Agriculture Biologique en cave particulière en AOP Saint Chinian		Sans label en cave particulière en AOP Saint Chinian	
	Système initial	Système conçu par les experts	Système initial	Système conçu par les experts	Système initial	Système conçu par les experts	Système initial	Système conçu par les experts
Durabilité sociale	niveau 2		niveau 3		niveau 3		niveau 3	
	niveau 4		niveau 4		niveau 4		niveau 4	
	niveau 4		niveau 4		niveau 4		niveau 4	
	niveau 4		niveau 4		niveau 4		niveau 4	
Chaîne de production	Accès aux intrants		Accès aux intrants		Accès aux intrants		Accès aux intrants	
	Accès aux marchés de produits		Accès aux marchés de produits		Accès aux marchés de produits		Accès aux marchés de produits	
Exploitant	Satisfaction au travail		Satisfaction au travail		Satisfaction au travail		Satisfaction au travail	
	Difficultés des opérations		Difficultés des opérations		Difficultés des opérations		Difficultés des opérations	
	Complexité du système de culture		Complexité du système de culture		Complexité du système de culture		Complexité du système de culture	
	Distribution de la charge de travail		Distribution de la charge de travail		Distribution de la charge de travail		Distribution de la charge de travail	
	Compétences et connaissances		Compétences et connaissances		Compétences et connaissances		Compétences et connaissances	
	Risques pour la santé		Risques pour la santé		Risques pour la santé		Risques pour la santé	
Interaction avec la société	Recours aux pesticides		Recours aux pesticides		Recours aux pesticides		Recours aux pesticides	
	Difficulté physique et pénibilité du travail		Difficulté physique et pénibilité du travail		Difficulté physique et pénibilité du travail		Difficulté physique et pénibilité du travail	
	Contribution à l'emploi		Contribution à l'emploi		Contribution à l'emploi		Contribution à l'emploi	
	Nombre d'heures de travail		Nombre d'heures de travail		Nombre d'heures de travail		Nombre d'heures de travail	
Intégration paysagère	Acceptabilité de la stratégie adoptée		Acceptabilité de la stratégie adoptée		Acceptabilité de la stratégie adoptée		Acceptabilité de la stratégie adoptée	
	Accessibilité sociale au produit		Accessibilité sociale au produit		Accessibilité sociale au produit		Accessibilité sociale au produit	
	Accessibilité sociale au produit		Accessibilité sociale au produit		Accessibilité sociale au produit		Accessibilité sociale au produit	

**Tableau 2. Notes de durabilité des critères de niveau 2, 3 et 4 de durabilité économique, d'après DEXiPM Vigne, pour chaque stratégie des exploitations viticoles considérées.** Une case vert clair correspond à une amélioration de la durabilité d'un point par rapport à la situation initiale.

Critères de durabilité économique	HVE en coopérative mixte IGP-AOP		HVE en coopérative 100% IGP		Agriculture Biologique en cave particulière en AOP Saint Chinian		Sans label en cave particulière en AOP Saint Chinian	
	Système initial	Système conçu par les experts locaux	Système initial	Système conçu par les experts locaux	Système initial	Système conçu par les experts locaux	Système initial	Système conçu par les experts locaux
<b>niveau 2</b>								
<b>Durabilité économique</b>								
<b>niveau 3</b>								
<b>niveau 4</b>								
<b>Profitabilité</b>								
Marge brute	3	4	3	4	4	4	4	4
Valeur de la production	4	4	4	5	5	5	5	5
Coût de production	3	3	3	4	4	5	4	5
Coût de la main d'oeuvre	3	3	3	4	4	5	4	5
Subventions	2	3	2	2	2	2	2	2
Subventions directes de soutien de la stratégie	3	3	3	3	3	3	3	3
	2	2	2	2	2	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Viabilité</b>								
Autonomie de l'exploitation	2	3	2	3	3	3	3	3
Indépendance économique vis à vis des subventions	1	2	1	2	2	2	2	2
Efficience économique du système de production	2	2	2	2	2	3	2	3
Dépendance du système vis à vis des moyens de protection	2	2	2	2	2	2	2	2
Capacité d'investissement	1	2	1	2	2	2	2	2
Besoins en matériel	2	2	2	2	2	2	2	2
Sécurité financière de l'exploitation	2	2	2	2	2	2	2	2

