



HAL
open science

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

R. Metral, Claire Schneider, Rosan de Lange, Aurélie Metay

► To cite this version:

R. Metral, Claire Schneider, Rosan de Lange, Aurélie Metay. DEXiPM Vigne®, un outil pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture viticoles. 15. Journée Scientifique de la Vigne et du Vin "Concilier production et performances environnementales en viticulture - Enseignements issus de projets méditerranéens sur les effets des intrants et leur maîtrise, Institut Agro Montpellier; INRAE; Université de Montpellier, Mar 2024, Montpellier, France. <hal-04510189>

HAL Id: hal-04510189

<https://hal.inrae.fr/hal-04510189v1>

Submitted on 18 Mar 2024

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

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



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC 4.0 - Attribution - Non-commercial use - International License

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

Raphaël METRAL¹, Claire SCHNEIDER², Rosan De LANGE², Aurélie METAY¹

¹ UMR ABSys, Univ Montpellier, INRAE, CIRAD, CIHEAM-IAMM, Institut Agro, Montpellier, France

² 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.

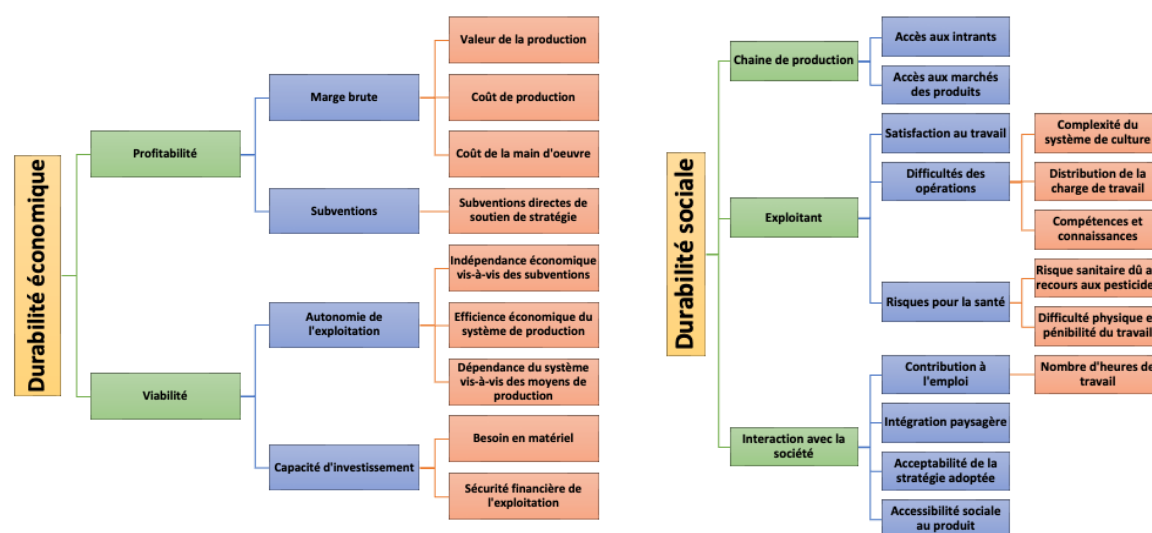


Figure 1. Décomposition des trois premiers niveaux des critères d'agrégation de la durabilité sociale et économique du modèle d'évaluation DEXiPM Vigne.

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.

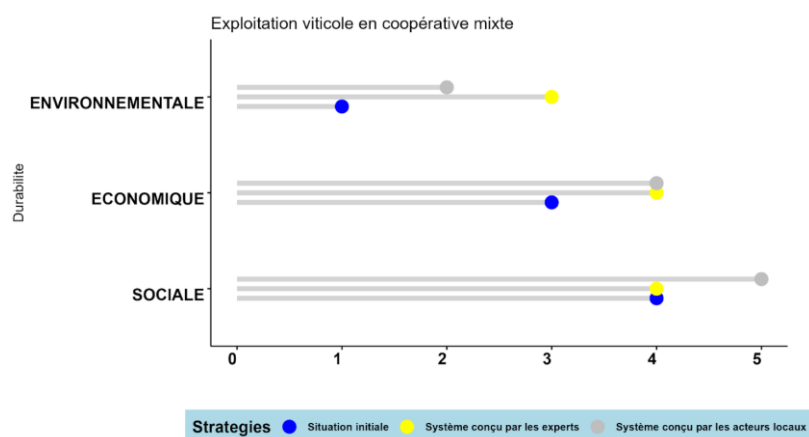


Figure 2. Evaluation DEXiPM Vigne de la durabilité environnementale, économique et sociale des stratégies co-conçues par les experts (jaune) et les acteurs locaux (gris) pour les types de fermes "Exploitation viticole HVE en coopérative mixte".

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.

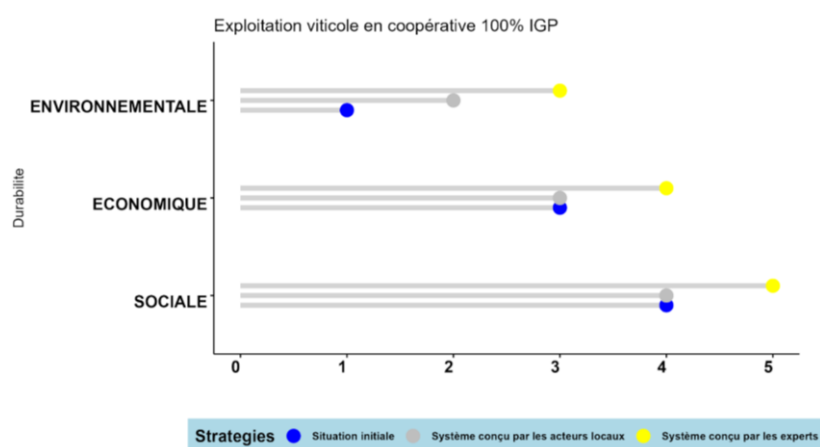


Figure 3. Évaluation DEXiPM Vigne de la durabilité environnementale, économique et sociale des stratégies co-conçues par les experts (jaune) et les acteurs locaux (gris) pour les types de fermes "Exploitation viticole HVE en coopérative 100% IGP" par rapport à la situation initiale (bleue).

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.

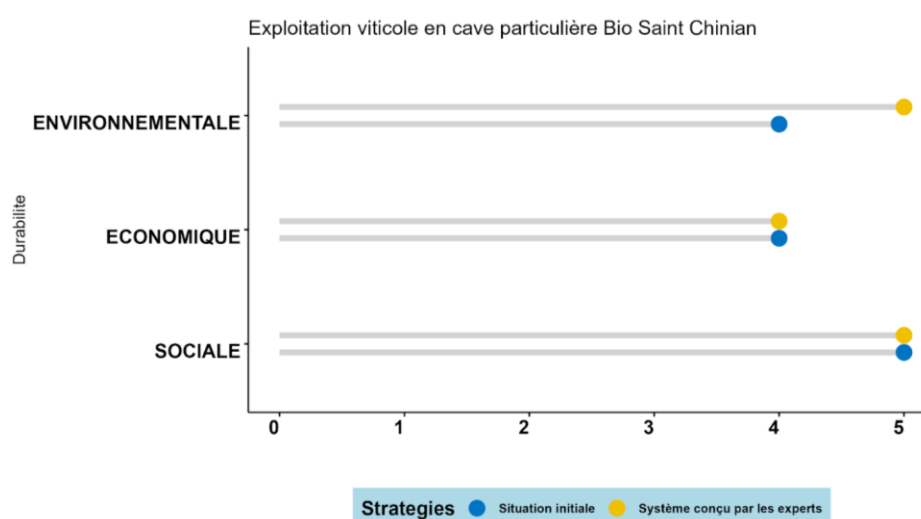


Figure 4. Évaluation DEXiPM Vigne de la durabilité environnementale, économique et sociale des stratégies co-conçues par les experts (jaune) pour les types de fermes “Exploitation viticole en cave particulière AB Saint-Chinian”.

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.

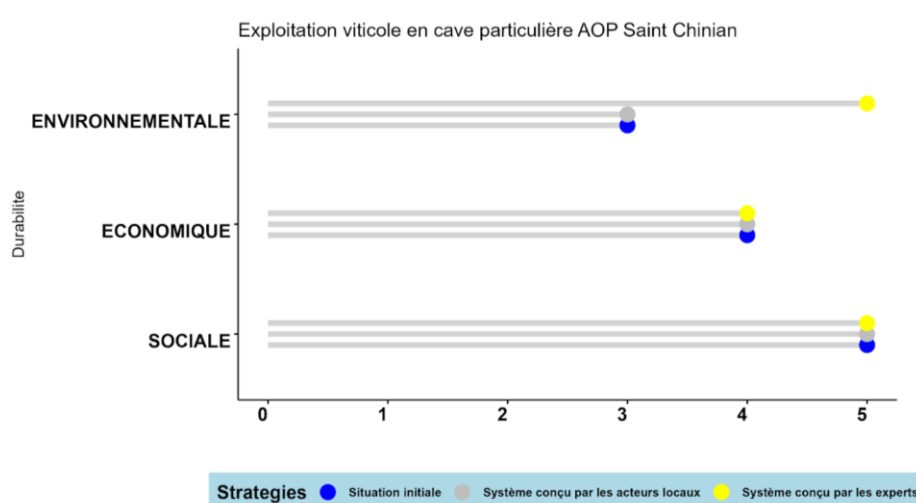


Figure 5. Évaluation DEXiPM Vigne de la durabilité environnementale, économique et sociale des stratégies co-conçues par les experts (jaune) pour les types "Exploitation viticole en cave particulière AOP Saint Chinian".

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^{ème} 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 conçu par les experts	Système conçu par les acteurs locaux	Système initial	Système conçu par les experts	Système conçu par les experts	Système conçu par les acteurs locaux	
niveau 2	Durabilité économique								
	niveau 3								
	niveau 4								
	Profitabilité	Marge brute	3	4	4	3	4	4	4
		Valeur de la production	4	4	5	4	5	5	5
		Coût de production	3	3	4	3	4	5	5
	Subventions	Coût de la main d'oeuvre	3	3	4	3	4	5	5
		Subventions directes de soutien de la stratégie	2	3	2	2	2	2	2
			3	3	3	3	3	3	3
	Viabilité	Autonomie de l'exploitation	2	3	3	2	3	3	3
Capacité d'investissement		Indépendance économique vis à vis des subventions	1	2	2	1	2	2	2
		Efficiency économique du système de production	2	2	2	2	2	3	3
		Dépendance du système vis à vis des moyens de protection	1	2	2	1	2	2	2
Besoins en matériel		2	2	2	2	2	2	2	
Sécurité financière de l'exploitation		2	2	2	2	2	2	2	