

Mémoire de stage
Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, option Inter-Etablissement
Protection des Plantes et Environnement

Sur le thème

Des systèmes viticoles sans pesticides –
Analyse de leur complexité



Par
Teo ETCHEPARE
Ecole de rattachement : Agrocampus-Ouest

Stage réalisé à : UMR ABSys - INRAE / SupAgro
2 Place Pierre Viala
34060, Montpellier

Sous la direction de :
Anne MEROT

Soutenu le 26 septembre 2023 à Montpellier, devant le jury composé de :

Président : Agathe Ballu

Membres : Florence Val
Alain Rodriguez
Anne Merot

Engagement de non-plagiat

✓ Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

✓ Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages *in extenso*, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sûr d'en citer la source.

✓ Sanction

En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

Engagement :

Je soussigné Teo Etchepare

Reconnait avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non-plagiat

A Epernay. le 14 septembre 2023

Signature :



Confidentialité

Non Oui si oui : 1 an 5 ans 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible ⁽¹⁾.

Date et signature du maître de stage ⁽²⁾ : 06/11/2023



A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

Droits d'auteur

L'auteur ⁽³⁾ **Etchepare Teo**

, autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-By-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur :



Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3).Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Table des matières

Remerciements.....	5
Abréviations.....	6
INTRODUCTION	7
CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE	8
I. La filière viticole française : une filière fortement consommatrice PPP.	8
II. Une volonté de réduction des produits phytosanitaires.	10
III. Innovation et reconception pour des systèmes viticoles à bas niveaux de PPP.	12
IV. Problématique.....	15
MATERIEL ET METHODE.	16
I. La récolte des données.....	16
II. Choix et calcul des indicateurs.	17
III. La normalisation des indicateurs.....	19
IV. L'analyse statistique pour étudier les indicateurs.....	20
RESULTATS.....	23
I. Les indicateurs de complexité.	23
II. Analyse du lien entre indicateurs de complexité et réduction de l'IFT.....	25
DISCUSSION.	27
I. La complexité dans les systèmes de production.	27
II. Les points forts et les limites de l'étude.	29
CONCLUSION	32
PERSPECTIVES.....	32
BIBLIOGRAPHIE.....	33
ANNEXES.....	38

Remerciements

J'adresse mes remerciements tout d'abord envers Anne Merot, mon encadrante de stage. Sa disponibilité, sa bienveillance et son soutien constant ont grandement contribué au bon déroulé de ce stage. Merci pour ses précieux conseils, son enthousiasme et cette opportunité de stage.

Je tiens également à remercier tout particulièrement les viticulteurs et viticultrices qui ont consacré leur temps à me décrire le fonctionnement de leur système de production, son évolution, et ont répondu à toutes mes interrogations. Ces échanges m'ont beaucoup apporté aussi bien techniquement qu'humainement.

Un remerciement à la Chaire Vigne&Vin de Montpellier Supagro pour m'avoir permis, par leur financement, de réaliser ce stage. Merci à Silvie Reboul et Camille Breyse pour leur disponibilité et leur soutien administratif malgré des demandes complexes.

Je remercie aussi les stagiaires, thésards et chercheurs que j'ai eu la chance de rencontrer et dont la présence et la bonne humeur ont embelli mes journées. J'ai une pensée particulière pour les occupants du bureau 119 pour leur bonne humeur et leurs soutiens. Je remercie aussi toute l'équipe de l'UMR ABSys pour les discussions passionnantes et enrichissantes partagées ensemble sur tant de sujets pluridisciplinaires.

Abréviations

ACP : Analyse par composantes principales

DEPHY : Expérimentation et production de références sur les systèmes économes en phytosanitaires

ESR : Efficience, substitution et reconception

GLMM : Generalized linear mixed model ou modèle linéaire généralisé mixte

IFT : Indicateur de fréquence de traitement

INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture et l'environnement

ITK : Itinéraire technique

PNPP : Préparation naturelles peu préoccupantes

PPP : Produits phytopharmaceutiques

SAU : Surface agricole utile

SDP : Stimulateur de défense des plantes

INTRODUCTION

Entre 1945 et 1995, le rendement moyen des blés français a connu une hausse continue, passant de 14-15 q/ha à 70 q/ha (AAF, 2023). Cette progression considérable est rattachée à l'essor de l'emploi de la génétique, de fertilisants et de produits de protection des cultures (Bourgeois & Demotes-Mainard, 2000). Les pesticides sont des « produits chimiques destinés à lutter contre les parasites animaux et végétaux nuisibles aux cultures et aux produits récoltés » (Larousse, 2023). Selon les bioagresseurs ciblés, ils peuvent être insecticides, herbicides ou fongicides. En 2021, en France, les ventes de produits phytosanitaires (PPP) se sont élevées à 43 013 tonnes (hors produits utilisables en agriculture biologique et biocontrôle) (Ministère de l'écologie, 2022). Ils sont aujourd'hui la pierre angulaire d'un modèle agricole où le « régime chimique » est devenu la norme (Bureau-Point et al., 2021; Jas, 2014).

Depuis le début des années 2000, les risques sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation de produits phytosanitaires font l'objet d'une inquiétude croissante de la communauté scientifique et de l'opinion publique. Plusieurs rapports ont pointé les effets néfastes de leur usage sur la santé et l'environnement (Aubertot et al., 2007). Face à ce constat, les pouvoirs publics ont décidé d'encadrer les pratiques agricoles afin de réduire l'utilisation des pesticides. L'Union européenne par la directive 2009/128/EC, impose en 2009 aux États membres la constitution de plans visant à réduire les risques et les impacts liés à l'utilisation de pesticides. En France, cela se concrétise par la mise en place du plan Ecophyto, qui vise une diminution de l'utilisation des produits phytosanitaires de 50% d'ici 2030 (CA France, 2023). La viticulture française occupe 3,7% de la Surface Agricole Utile nationale et consomme 15% des pesticides utilisés sur le territoire (Ministère de l'Agriculture, 2012). Le projet VITAE (2020-2026) a pour objectif l'étude de la conception de systèmes viticoles sans pesticides par une approche pluridisciplinaire.

Dans ce cadre, l'étude s'intéresse aux systèmes de productions viticoles très peu consommateurs de pesticides déjà en place en France. L'étude consiste à analyser la complexité fonctionnelle et structurelle présente et passée de ces systèmes à travers des indicateurs et à étudier le lien entre complexité du système et réduction d'usage des pesticides. Dans un premier temps, le rapport abordera le contexte, les enjeux, le cadre conceptuel et les hypothèses du stage. Dans un second temps, il présentera le dispositif mis en place. Les résultats seront présentés dans la troisième partie. Enfin, la dernière partie du rapport discutera des résultats, des limites de cette étude et de ses perspectives.

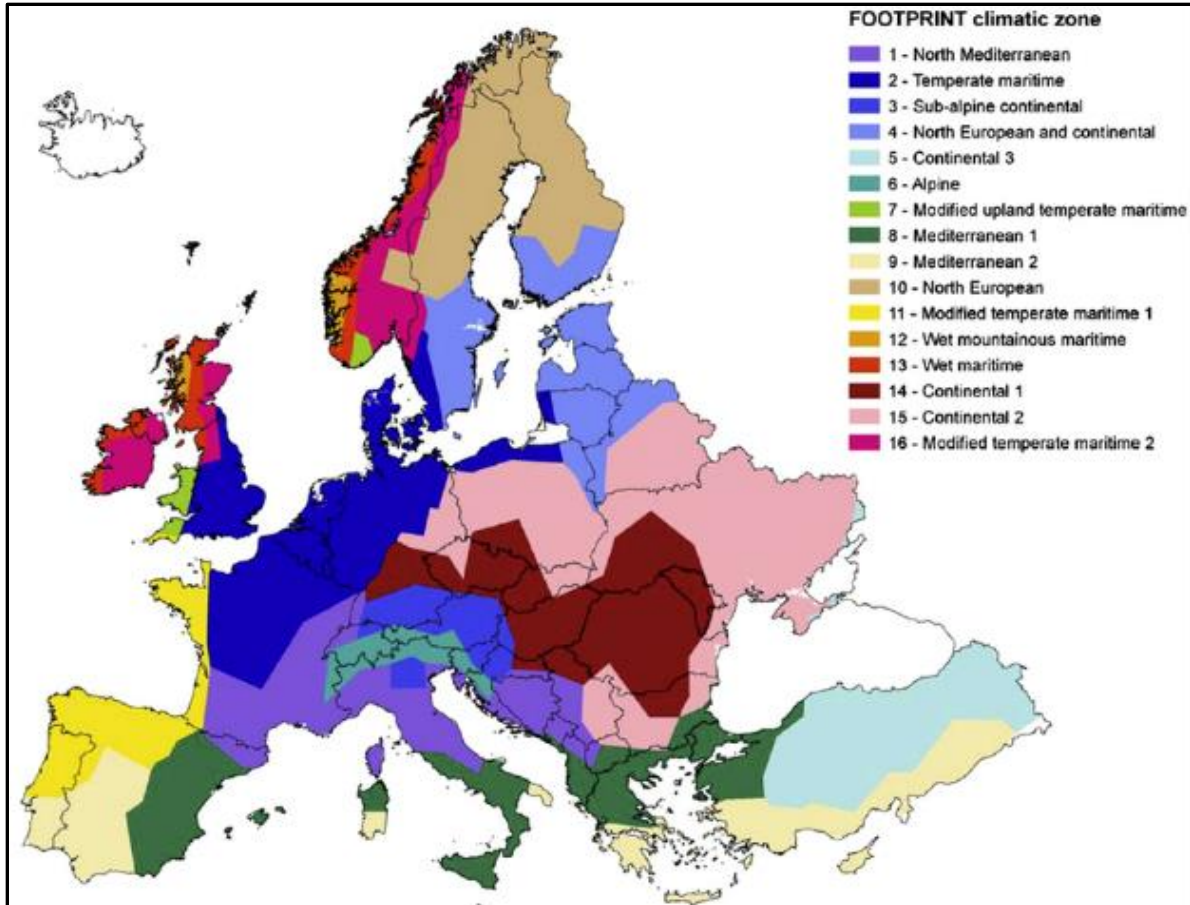


Figure 1 Carte des principaux climats européen (Blenkinsop et al, 2019)

CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

I. La filière viticole française : une filière fortement consommatrice PPP.

A. Une filière d'importance diversifiée.

La culture viticole couvre 796 000 hectares de terre, soit 3% de la surface agricole française (Agreste, 2020). La viticulture est un élément important de l'économie française qui génère 17% de la valeur agricole produite en France. Avec 4,69 milliards de litres produits dont 1,3 milliard exporté en 2020, la France est le second producteur et le premier exportateur de vin au niveau mondial. Les emplois directs et indirects qui en dépendent sont estimés à un nombre de 500 000 (CNIV, 2023).

En France, on comptabilise 17 bassins viticoles et 363 appellations d'origine protégée (INAO, 2020). Les cultures viticoles sont présentes sur 66 départements métropolitains et composent une grande diversité de terroirs. Le terme "terroir" désigne une interaction unique entre climat, plante et sol, dans laquelle interviennent des choix techniques (matériel végétal, mode de conduite, gestion des maladies et des mauvaises herbes, date de récolte) (CNIV, 2023). Les climats métropolitains peuvent être classés en trois grands ensembles climatiques (Blenkinsop et al., 2008), tels que présentés dans la Figure 1 :

- L'Alsace, la Champagne et la Bourgogne (en violet) correspondent à un climat tempéré. Ce type de climat se caractérise par une influence des entrées maritimes, il est chaud et les précipitations y sont modérées.

- Le Val de Loire, le Bordelais et le Sud-Ouest (en vert) constitue un ensemble au climat maritime. Ce type de climat est chaud, humide et les précipitations y sont abondantes.

- La Vallée du Rhône, le Midi, la Provence et la Corse (en jaune) ont un climat méditerranéen. Les températures y sont élevées et le déficit hydrique peut être important en été.

B. Hétérogénéité des pressions cryptogamiques et des ravageurs en France.

La viticulture est une culture pérenne très majoritairement conduite en monoculture.

A ce titre, elle est particulièrement vulnérable à la pression des différents bioagresseurs. Il existe une grande variété de bioagresseurs connus touchant la vigne. Concernant les maladies cryptogamiques, la vigne est fortement sensible au mildiou (*Plasmopara viticola*), à l'oïdium (*Erysiphe necator*), à la

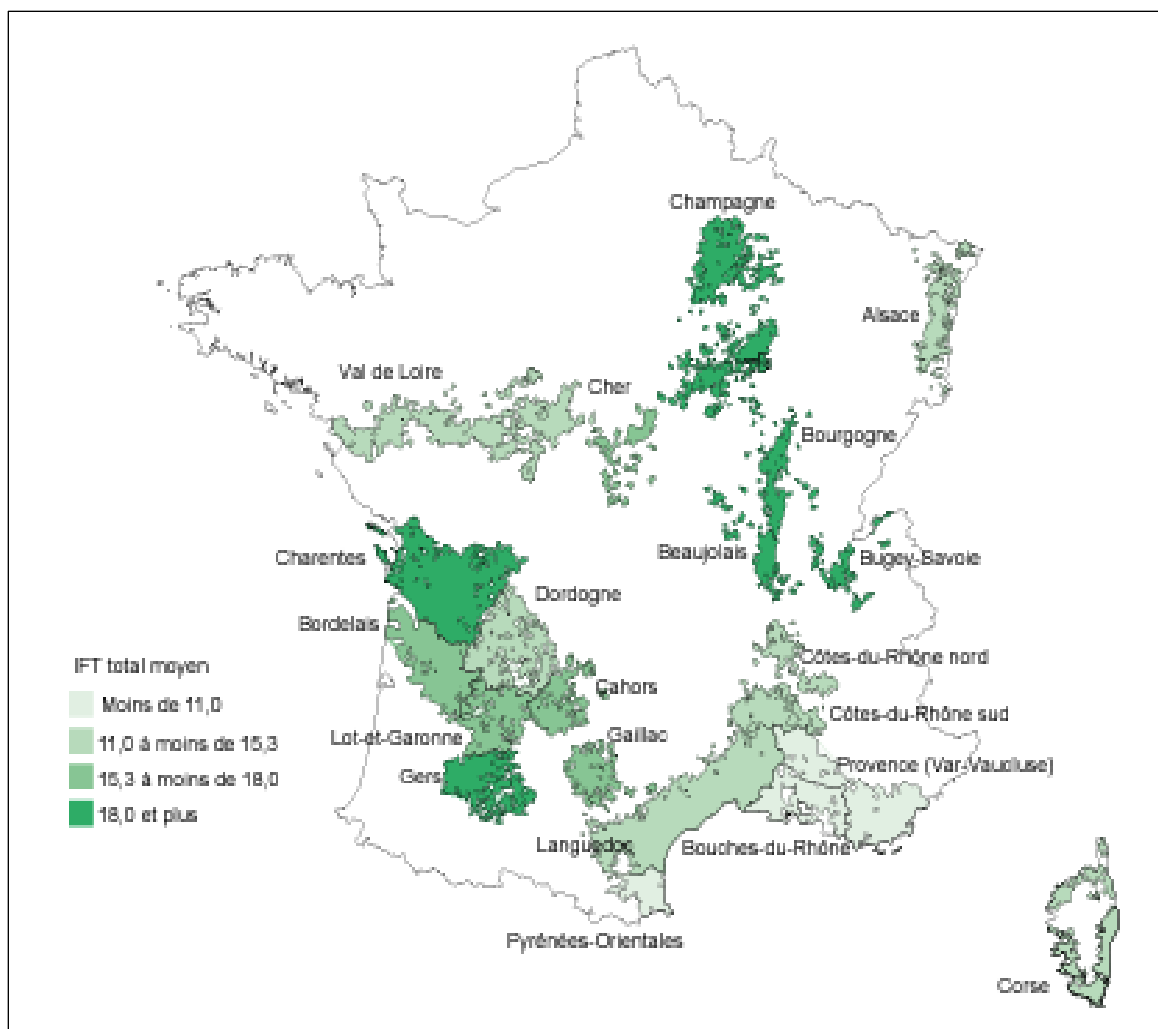


Figure 2 Carte des IFT total annuels moyen par région viticole (Agreste,2018).

pourriture grise (*Botrytis cinerea*) ou encore au black rot (*Phyllosticta ampellicida*) qui causent des dégâts sur les feuilles et les baies (Kunova et al, 2021). Des ravageurs sont également susceptibles de causer des dommages tel que les tordeuses (*Lobesia botrana* et *Eupoecilia ambiguella*) qui endommagent les grappes (Acta, 2022). Des ravageurs peuvent également être vecteurs de maladies comme la cicadelle (*Scaphoieus titanus*), vectrice de la Flavescence dorée, contre laquelle les traitements larvicides sont obligatoires dans de nombreuses localités (DRAAF, 2023).

Le développement des agents pathogènes est lié aux conditions climatiques du vignoble, principalement à la pluviométrie, à l'humidité et au vent (Mailly et al., 2017). Pour exemple, le niveau d'humidité de l'air ambiant est positivement corrélé à la fréquence de germination des conidies du mildiou (Carroll & Wilcox, 2003). L'hétérogénéité climatique des bassins viticoles français engendre une hétérogénéité des pressions sanitaires. Selon les régions viticoles, certains ennemis sont très présents : black rot et mildiou dans la région Sud-Ouest, oïdium et tordeuses dans le Sud-Est, pourriture grise en Champagne et dans le Nord-Est (Acta, 2022).

C. L'utilisation répandue des pesticides.

Les bioagresseurs nuisent considérablement au développement des baies et peuvent être à l'origine de défauts qualitatifs du vin et de pertes de rendement pouvant aller jusqu'à 100% (Savary et al, 2009). La protection phytosanitaire est la première solution mobilisée par les viticulteurs pour lutter contre la pression des bioagresseurs et garantir une vendange qualitative et quantitative. La vigne fait partie des cultures les plus consommatrices de pesticides.

En 2007, la viticulture représentait 15% du volume de pesticides utilisé pour une surface de 3% de la SAU française (Ministère de l'Agriculture, 2012). Au cours de la saison 2019, les vignes ont reçu en moyenne 18 traitements, pour un Indice de Fréquence de Traitement (IFT) moyen tout traitements confondus de 12,4 (Agreste, 2023). Cela fait de la viticulture la 3^{ème} culture la plus traitée derrière la pomme et la pêche (IFT respectif : 31,9 et 18,5). Parmi les traitements pulvérisés, 82% étaient des fongicides, 12% des insecticides et 5% des herbicides.

L'hétérogénéité des pressions sanitaires se retrouve dans la variabilité des fréquences de traitement selon la région viticole (Figure 2). En métropole, deux gradients d'intensité de traitement ont été identifiés, un gradient nord-sud et un gradient est-ouest (Fouillet, 2022). Les bassins viticoles au nord ont un IFT moyen plus élevé qu'au sud. Par exemple, en 2019, l'IFT en Champagne était de 17.3, tandis que dans les Bouches-du-Rhône il était de 8. De même, les bassins viticoles à l'ouest ont

des IFT plus élevés qu'à l'est. L'IFT moyen pour 2019 était de 15.0 dans le Bordelais contre 8.7 en Provence (Agreste, 2023).

II. Une volonté de réduction des produits phytosanitaires.

A. Prise de conscience et décisions politiques.

Au cours des années 2000, plusieurs rapports ont pointé les effets néfastes de l'usage des pesticides sur la santé et l'environnement (Aubertot et al., 2007). Ils ont souligné les conséquences de l'utilisation massive de ces produits sur la perte de biodiversité (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019), la pollution des eaux et des sols (Pelosi et al., 2021), leur présence dans l'alimentation et leurs dangers sur la santé humaine (Panseri et al., 2019) ou encore la perte de leur efficacité à travers le temps, liée à l'apparition de résistances chez les bioagresseurs (Hawkins et al., 2019).

En réponse à cela, la France a mis au point Le Plan national santé environnement et créé l'Observatoire National des résidus de pesticides en 2004 (Momas et al., 2004). En 2006, la Commission européenne a présenté une proposition de directive, qui prévoyait que les États membres mettent en œuvre des plans d'actions nationaux pour atteindre un objectif d'utilisation durable des pesticides (Aida, 2009). Dans cette perspective, dans le sillon du Grenelle de l'environnement, la France lance en 2008 le plan « Ecophyto », associant plusieurs acteurs pour sa mise en œuvre : organismes scientifiques et techniques, syndicats professionnels agricoles, entreprises productrices et distributrices de produits phytosanitaires. Ce plan visait un objectif de réduction de l'usage des produits phytosanitaires de 50 %, par rapport à la référence de 2008 pour 2018 (Carpentier et al., 2009).

Malgré d'importants moyens engagés, les résultats sont pour le moins mitigés : sur la période 2009–2013, enregistre une augmentation de la consommation nationale de pesticides de 5% (Guichard et al., 2017). Entérinant l'échec du premier, le plan « Ecophyto II » est rendu public en 2015 ainsi qu'un plan « Ecophyto II+ » en novembre 2018 (CA France, 2023). Dernièrement, la Banque Nationale des Ventes des Distributeurs des produits phytosanitaires (BNVD) a observé une diminution des ventes de 19% sur les années 2020-2021, comparé à la moyenne 2012-2017 (BNVD, 2023). Ce chiffre est à nuancer car réalisé en 2020, année particulièrement sèche. D'autre part, une hausse de 13% des ventes de produits de biocontrôle et de produits utilisables en Agriculture Biologique a été comptabilisée, ce qui montre une émergence et un engouement national pour les solutions alternatives (Ministère de l'écologie, 2022).

Action majeure du plan Ecophyto, le réseau D'Expérimentation et Production de références sur les systèmes économes en PHYtosanitaires (DEPHY) a été créé en France en 2010. Ce réseau national regroupe 3 000 exploitations agricoles engagées dans une démarche volontaire de réduction de l'usage des pesticides et mobilise des partenaires dans la recherche, le développement et le transfert (Ministère de l'Agriculture, 2023). Un rapport, publié en octobre 2022, fait état, pour les 465 exploitations engagées en viticulture, d'une réduction moyenne de 22 % de l'usage des pesticides depuis 2010 (Fouillet, 2022). En dépit des efforts des agriculteurs, de l'accompagnement et du soutien technique dont ils bénéficient, les taux de réduction atteints par le réseau DEPHY sont bien en deçà de l'objectif de 50% de réduction fixé par l'Union européenne.

B. Des solutions techniques et organisationnelles difficiles à mettre en place.

Les solutions techniques impliquent l'utilisation de technologies et de méthodes alternatives pour la gestion des ravageurs et des maladies, telles que la confusion sexuelle, l'utilisation de pièges, la lutte biologique, l'emploi de produits phytosanitaires d'origine naturelle et la mise en place de systèmes d'irrigation précis. Ces leviers sont le plus souvent associés pour la réduction de l'usage des produits phytosanitaires (Gupta et al., 2003).

Les solutions organisationnelles, quant à elles, consistent à des changements au niveau de la planification et de l'organisation des exploitations, incluant la diversification des cultures, le changement des règles de décision ou des objectifs de rendement, la formation des agriculteurs, la sensibilisation aux risques et la promotion de la collaboration entre les producteurs (Zakić et al., 2014).

En combinant ces leviers techniques et organisationnels, il est possible de réduire efficacement l'usage des pesticides en viticulture tout en préservant la santé des vignobles et de l'environnement (Deguine et al., 2021). Les leviers n'ont individuellement que des effets partiels et doivent être combinés afin d'obtenir des résultats efficaces (Deguine et al., 2021).

Cependant, la combinaison des leviers représente un blocage pour de nombreux agriculteurs (Lefebvre et al., 2015). En effet, des contraintes supplémentaires doivent être supportées dans la transition vers des systèmes agricoles plus économes en produits phytosanitaires : la complexification des systèmes de culture (Merot & Wery, 2017) et la variabilité de rendement plus forte (Lesur-Dumoulin et al., 2017). L'intensité du travail à fournir à long terme peut entrer en contradiction avec les considérations financières et la qualité des conditions de travail des agriculteurs (Plateau et al., 2021).

C. Le cadre de recherche zéro pesticide.

La recherche sur les systèmes agricoles économes en pesticide s'est concentrée sur la réduction progressive des pesticides (Vanloqueren & Baret, 2009). Cette tendance accorde peu de priorité à la recherche d'innovations de rupture ou d'une agriculture sans pesticides. On peut la comparer à un effet de "fixation". Cet effet, qui a lieu dans la recherche académique, particulièrement lors de travaux sur des problèmes complexes et interdisciplinaires, décrit la tendance à développer des solutions conventionnelles et prévisibles en utilisant des approches disciplinaires étroites. Cela peut conduire à une stagnation de l'innovation, car les chercheurs se retrouvent enfermés dans leurs propres domaines de spécialisation et manquent de perspectives nouvelles et créatives.

Afin de générer de nouvelles idées et de développer des solutions novatrices pour répondre à ces problèmes, il est important de développer la recherche interdisciplinaire et la théorie de la conception (Vourc'h et al, 2018). Dans le cas de la recherche sur la diminution d'usage des PPP, une solution pour surmonter l'effet de fixation consiste à déclarer que les systèmes sans pesticides sont d'avenir et que la recherche doit travailler dès maintenant dans ce paradigme (Jacquet et al., 2022). Il est nécessaire de favoriser la diversité des communautés d'innovation afin de combiner les actions (Toffolini et al. 2020). C'est dans ce cadre conceptuel que prend place le projet VITAE et cette étude.

III. Innovation et reconception pour des systèmes viticoles à bas niveaux de PPP.

Développer des approches innovantes pour conduire la transition est une nécessité pour la filière viticole française (IFVV, 2022). La combinaison des leviers actuels représente un blocage à sa mise en place (Lefebvre et al., 2015), et des nouveaux moteurs d'innovations doivent être identifiés pour y répondre (Klerkx & Begemann, 2020).

A. Les systèmes agricoles et leurs complexités dans la transition agroécologique.

La mise en place durable des moyens permettant de réduire l'utilisation de pesticides impacte les performances de l'exploitation, son organisation et sa structure (Merot et al., 2019). L'étude de ces transitions nécessite une approche systémique de l'innovation afin d'en comprendre tous les enjeux (J.-M. Meynard, 2017).

L'approche systémique consiste à représenter le cas d'étude comme une entité composée d'un ensemble de sous-systèmes en interaction au milieu d'un environnement (Aubry & Michel-Dounias, 2006). Un système de production agricole est définie comme (Figure3) la combinaison d'un sous-

système biophysique (sol, ravageurs,...) en interaction avec un sous-système technique (cultures en place, pratiques culturales,...) sous l'influence du système décisionnel (critère de déclenchement de traitement,...) dans un cadre de contraintes défini par les caractéristiques du milieu et de son environnement (ressources matérielles et humaines, climat, pressions cryptogamiques, débouchés économiques,...) (Le Gal, 2011).

La complexité d'un système est fonction du nombre d'éléments (complexité structurelle) et des interactions entre ces éléments (complexité fonctionnelle) (Lamanda et al., 2012). Des changements dans le fonctionnement de l'exploitation, par la mise en place de nouvelles pratiques, peuvent faire évoluer le système et sa complexité. Par exemple, pour réduire les besoins en pesticides, il est possible de diversifier ses cultures (Sattler et al., 2021). Cette diversification attirera des populations d'insectes ou de pathogènes plus variées et favorisera les services écosystémiques et la prédation tout en formant des barrières physiques à l'extension des épidémies. De plus, l'achat d'un nouveau matériel, comme des produits de biocontrôle pour lutter contre les bioagresseurs de la vigne, peut aider à diminuer l'usage des pesticides (Laurie & Hela, 2016). Néanmoins, ces changements conduisent à une augmentation du nombre d'éléments biophysiques (nombre d'activités, nombre de cultures) et techniques (séquences de gestion des cultures, opérations techniques, nombre de passages). Cela augmente la complexité du système agricole. Les agriculteurs doivent ainsi trouver un équilibre entre les avantages biologiques et la nécessité de simplifier la structure et la gestion du système pour optimiser les facteurs socio-économiques tels que la main-d'œuvre et les coûts. (Merot & Wery, 2017).

B. [Besoin d'innovations et de reconceptions.](#)

Les différents moyens visant à réduire l'utilisation des pesticides peuvent être classés selon le cadre ESR (*Efficiency - Substitution - Reconception*) (Hill & MacRae, 1996). L'efficacité consiste à réduire l'utilisation des pesticides en utilisant une approche raisonnée et en rationalisant leur utilisation. La substitution implique le remplacement des pesticides par d'autres produits de lutte alternative tels que ceux de biocontrôle. La reconception vise à créer les meilleures conditions pour les cultures en prévenant la présence de bioagresseurs. Elle implique des modifications plus profondes du système tel que l'augmentation de la diversité culturelle.

La recherche se concentre sur la réduction progressive et sur l'efficacité des traitements phytosanitaires (Jacquet et al., 2022). Le secteur du conseil agricole est également victime de l'effet de « fixation » décrit précédemment.

Ainsi, les fermes du réseau DEPHY, accompagnées par des conseillers pour réduire l'usage des pesticides, mettent majoritairement en place des solutions de réduction d'efficacité et de substitution (Fouillet, 2022). Or, le bilan du réseau, de 22% de réduction (Ministère de l'Agriculture, 2020) est loin des ambitions du plan « Ecophyto » ou d'un arrêt définitif de l'usage des pesticides. Nous pouvons déduire qu'une forte réduction de ceux-ci nécessite des changements de type « reconception » et des innovations qui seront le fruit d'autres sources que celle de la recherche.

C. Les exploitations agricoles, source d'innovations.

L'innovation peut se traduire par l'acquisition de nouvelles technologies en équipement, de nouveaux savoir-faire, dans le but de maintenir, d'améliorer ou de renouveler le fonctionnement ou la production de l'exploitation (Temple et al., 2020). Les exploitations agricoles vivent et travaillent dans des conditions socio-économiques, politiques et environnementales qui leur sont propres. Les innovations prennent ainsi des voies différentes afin d'être le plus spécifiquement adaptées à la situation à laquelle les agriculteurs font face (Coudel et al., 2012). Les exploitants agricoles adaptent leurs pratiques de gestion et les améliorent de façon active en fonction de l'évolution des conditions et des problématiques.

L'effort de transition est fonction de la volonté de l'agriculteur (Bakker et al., 2021). Grâce à une connaissance approfondie de leurs paysages naturels, certains agriculteurs se livrent en permanence à des expérimentations, tout en observant les changements qui surviennent au fil du temps (Sanginga et al., 2009). Ils construisent des savoirs et des pratiques, innovent et s'adaptent à leur environnement à travers l'observation, l'échange de connaissances, d'informations et l'expérimentation. Ces changements peuvent être très différents en fonction des combinaisons de leviers mises en place, des caractéristiques de l'exploitation, de son environnement et de la temporalité de la transition.

La conception est un processus non-linéaire, en évolution constante, qui est le résultat d'une interaction entre l'exploitant, les sources d'informations disponibles (conseillers, voisins, sites internet,...), les possibilités (matérielles, humaines ou économiques) et les problématiques à traiter (Belmin et al., 2022). Les systèmes de culture et de production sont modifiés étape par étape selon une approche progressive (J. M. Meynard et al., 2012). La complexité évolue progressivement en fonction de la levée des blocages et des essais-erreurs (Deffontaines et al., 2020).

Malgré son importance, l'innovation mise en œuvre sur le terrain est aujourd'hui très peu reconnue dans le monde universitaire et du conseil agricole. L'innovation agricole est souvent associée

à l'élaboration et au transfert de technologies au profit des agriculteurs ou à la participation des agriculteurs aux projets de recherche et développement visant à améliorer la pertinence des produits (Bakker et al., 2021). L'approche visant à mesurer l'innovation des agriculteurs, en l'absence d'interventions extérieures, est récente (Läpple et al., 2015). Les innovations créées indépendamment ne sont pas bien documentées et sont peu étudiées (Beckford et al., 2007). C'est pourtant une source d'innovations importante pour l'identification des solutions existantes à la levée des blocages dans la réduction des pesticides (Prost et al., 2023).

IV. Problématique.

Le stage est réalisé dans le cadre du projet pluridisciplinaire VITAE. Ce projet, coordonné par l'INRAE, aborde les changements techniques, économiques et sociaux itinérants à une viticulture française utilisant zéro pesticide et s'intitule « Cultiver la vigne sans pesticides : vers des socio-écosystèmes viticoles agroécologiques ». Par « zéro pesticide » on entend l'absence d'utilisation de produits de synthèse mais aussi de cuivre et de soufre.

Cette étude se focalise sur des systèmes de cultures existants ayant atteint ou se rapprochant du niveau zéro pesticide. Elle s'intéresse à l'évolution de la complexité de ces systèmes et au lien entre la complexité et la réduction des pesticides. Quelles sont les évolutions de la complexité des systèmes de cultures réduisant fortement la consommation de pesticides ? Quelles sont les solutions organisationnelles permettant une telle diminution ?

Nous faisons les hypothèses suivantes :

- La complexité des systèmes viticoles évolue dans le temps.
- Une réduction de l'usage des produits phytosanitaires a pour conséquence une complexification des systèmes de production viticoles.

MATERIELS ET METHODES.

Afin d'étudier l'évolution de la complexité des systèmes de culture viticoles français très économes en pesticides, leurs trajectoires ont été analysées. Une trajectoire étant définie comme un ensemble d'étapes correspondant aux positions successives occupées par un système par rapport à un repère donné (Merot, Belhouchette, et al., 2020). Des entretiens semi-directifs ont été menés afin de récolter les données se référant aux situations présentes et passées. Des indicateurs ont ensuite été calculés afin de rendre compte de la complexité de ces systèmes et de permettre la comparaison des différentes situations. Une analyse statistique a permis de vérifier les hypothèses posées.

I. La récolte des données.

A. Entretiens semi-directifs.

Des entretiens semi-directifs auprès des viticulteurs ont permis de récolter des informations concernant leurs systèmes de culture. Ces entretiens ont été réalisés en présentiel sur les exploitations dans le cadre de la thèse d'Esther Fouillet (12 exploitations), du mémoire de fin d'études d'Audrey Martinez (12 exploitations) et de celui-ci (3 exploitations). Un guide d'entretien a été construit par Audrey Martinez afin d'harmoniser les résultats, aiguiller au mieux les échanges et collecter les données caractérisant à la fois le fonctionnement et la structure du système agricole dans l'espace et le temps (ANNEXE I). Une dimension rétrospective a permis de renseigner l'historique des pratiques et de retracer les trajectoires des systèmes de cultures. Durant les entretiens un croquis du parcellaire et une frise de l'itinéraire technique ont été produits avec les agriculteurs pour caractériser au mieux la diversité parcellaire et culturelle de l'exploitation. Au cours de la phase d'analyse des entretiens, les viticulteurs ont été recontactés pour préciser des informations supplémentaires ou manquantes. Ce deuxième contact s'est déroulé par appel téléphonique ou entretien en présentiel.

B. L'échantillon.

L'échantillon est composé de 27 exploitations viticoles qui ont été sélectionnées de manière à couvrir un large éventail de situations et de contraintes liées à la gestion et à la performance des systèmes de culture viticole (Salembier, 2019). L'échantillon comprend des exploitations situées dans 6 grands bassins viticoles français, à savoir : la Bourgogne, la Champagne, la Nouvelle-Aquitaine, l'Occitanie, la Provence et la Loire (Agreste, 2023). Ces bassins viticoles bénéficient de climats différents, ce qui permet d'étudier une variété de terroirs représentatifs du territoire métropolitain.

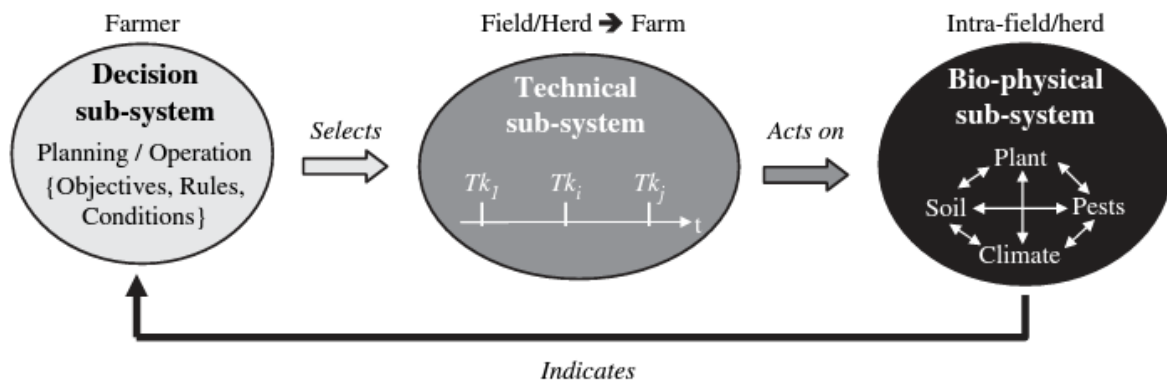


Figure 3 : Représentation schématique d'un système de production agricole en tant que trois sous-systèmes interactifs. Le sous-système de décision comprend les objectifs de l'agriculteur, les règles de décision et les conditions qui activent les règles. Il sélectionne les interventions techniques au niveau du champ/troupeau incluses dans le sous-système technique. Ces interventions agissent sur la relation entre les plantes, le sol, le climat et les ravageurs qui composent le sous-système biophysique. Les états de ce sous-système sont utilisés comme indicateurs et conditions pour activer les règles de décision caractérisées dans le sous-système de décision (Le Gal et al, 2010).

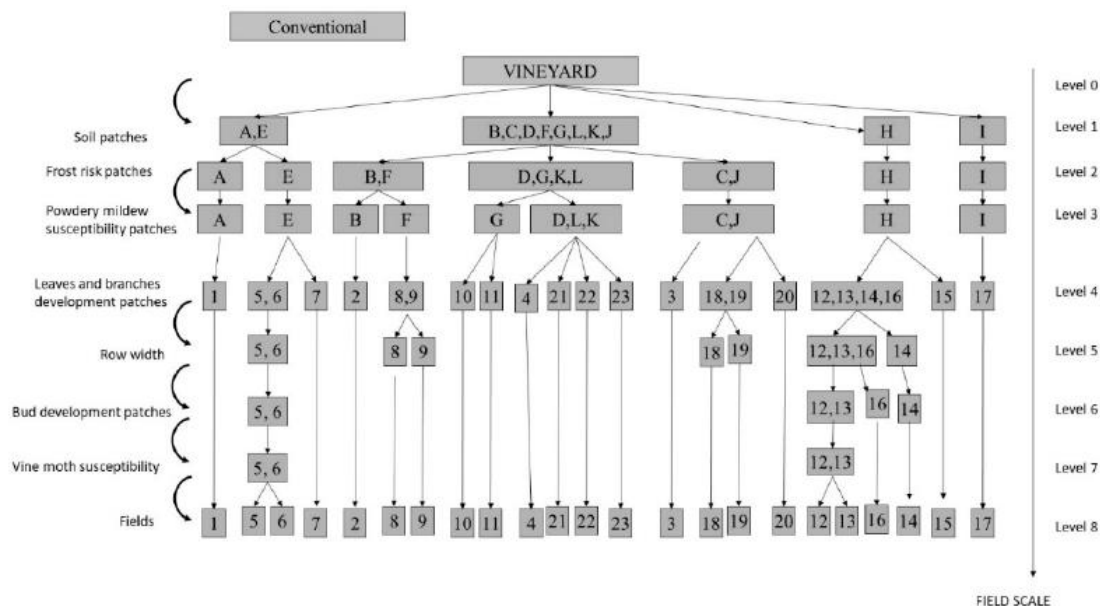


Figure 4 : Schéma HPD d'une exploitation agricole : les lettres correspondent aux parcelles, les noms à droites sont des variables décisionnelles, les intersections correspondent à une différence de modalité de la variable pour un groupe de parcelles. L'indicateur nTMS correspond au nombre de groupe de parcelles à la dernière variable décisionnelle (ici, level 7). L'indicateur nMI correspond au nombre de variable décisionnelles ayant entraîné une division d'un groupe de parcelles.

De plus, les exploitations viticoles ont été choisies pour leurs performances environnementales. Elles devaient avoir un IFT actuel inférieur à 60% à l'IFT moyen régional.

II. Choix et calcul des indicateurs.

A. Les indicateurs de complexité.

Pour rendre compte de la complexité des systèmes étudiés, des indicateurs ont été calculés en utilisant les informations récoltées lors des entretiens. Ces indicateurs représentent les 3 sous-systèmes qui composent un système de culture agricole (Figure 3) et sont majoritairement issus des travaux de (Merot & Wery, 2017). Dans le sous-système biophysique, les indicateurs sont :

- **VA** : la superficie du vignoble en production (en hectares)
- **nF** : le nombre de champs en production
- **nDf** : le nombre de champs difficiles qui contraignent le viticulteur (en pente, vulnérable, trop poussant...)

Dans le sous-système technique :

- **nTMS** : le nombre d'itinéraires techniques au sein de l'exploitation. Un itinéraire technique (ITK) est une suite cohérente et ordonnée d'interventions techniques dans la production agricole. Dans l'étude, un ITK constitue une année jusqu'aux vendanges. Le calcul de l'indicateur nTMS est basé sur la méthode HPD (Figure 4) qui est décrite en ANNEXE II.
- **nFI** : le nombre d'interventions réalisées sur l'ensemble du parcellaire. Si une intervention est réalisée seulement sur la moitié du parcellaire, cela représente 0,5 intervention. De plus, si deux outils sont utilisés en un passage, cela correspond à 2 interventions.
- **Wt** : le temps de travail sur l'exploitation (en heures)

Dans le sous-système décisionnel :

- **nMI** : nombre d'indicateurs de gestion. Un indicateur de gestion est défini comme un caractère agronomique aboutissant à la mise en œuvre de plusieurs ITK au sein d'un groupe

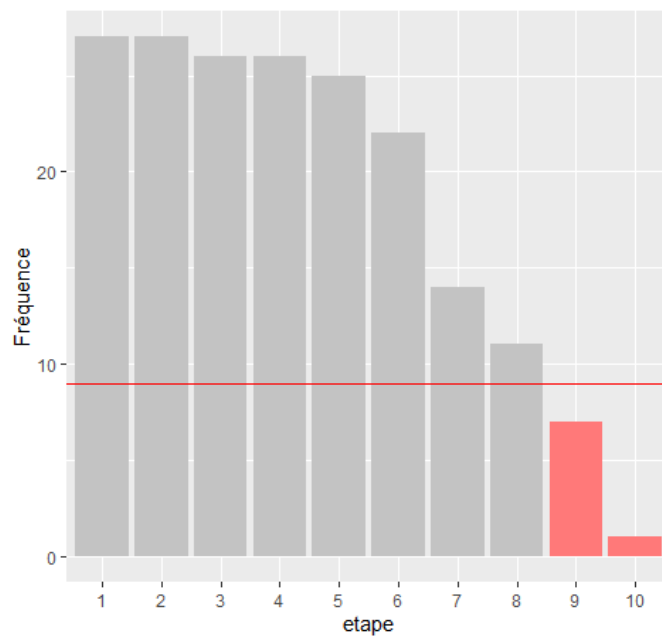


Figure 5 Diagramme des fréquences d'apparition de la variable *etape*. La ligne rouge correspond à un tiers de individus ($n=9$). En rouge les modalités ne correspondant pas à ce minimum.

de parcelles (exemple : sensibilité aux maladies). Le calcul de l'indicateur est basé sur la méthode HPD (Figure 4) qui est décrite en ANNEXE II.

Ces six indicateurs ont été sélectionnés pour leur aspect quantitatif. Néanmoins, nous supposons que plus le nombre de composantes augmente, plus le nombre d'interactions entre elles est susceptible d'augmenter, liant ainsi la complexité structurelle et la complexité fonctionnelle.

B. L'indicateur d'usage de phytosanitaire : l'IFT.

L'IFT (Indice de Fréquence de Traitement) est un indicateur qui permet de mesurer la fréquence d'utilisation des produits phytosanitaires dans une exploitation agricole. Le calcul de l'IFT prend en compte les produits phytosanitaires appliqués sur la culture et la surface traitée. Il permet de mesurer l'impact environnemental des pratiques agricoles et de suivre l'évolution de l'utilisation des produits phytosanitaires dans le temps (Pingault et al., 2009).

Le calcul de l'IFT peut être effectué à différentes échelles : sur une parcelle, un ensemble de parcelles, une exploitation, un territoire ou une région. Pour calculer l'IFT à l'échelle d'un système de culture, on somme les IFT des parcelles formant le système de culture et on pondère par leur surface respective. Le calcul de l'IFT prend en compte la dose appliquée, la dose homologuée par cible visée et la surface de la parcelle, tel que :

$$IFT = \frac{\text{dose appliquée}}{\text{dose homologuée}} \times \frac{\text{surface traitée}}{\text{surface de la parcelle}}$$

C. La quantité annuelle de cuivre métal comme base de calcul.

Les exploitations enquêtées par Esther Fouillet étant issues du réseau DEPHY, les IFT ont pu être précisément fournis. Cependant, la conservation d'un registre des traitements phytosanitaires n'est obligatoire que 3 ans (Goutille & Garrigou, 2021). Les données nécessaires au calcul de l'IFT étaient donc manquantes pour les autres exploitations. Ces exploitations n'utilisent principalement que du cuivre. Dans cette mesure, une méthode permettant de calculer l'IFT en se basant sur la quantité de cuivre métal utilisé annuellement a été mise en place. Selon le produit utilisé, la quantité de cuivre métal présent dans une pleine dose homologuée est différente. La totalité des produits cuivrés utilisables en viticulture biologique en 2018 ont été sélectionnées et une moyenne de quantité de cuivre métal par point d'IFT a été réalisée (ANNEXE III) Cette moyenne a ensuite été utilisée pour calculer l'IFT. L'année 2018 a été choisie car elle est centrale dans la temporalité des trajectoires étudiées.

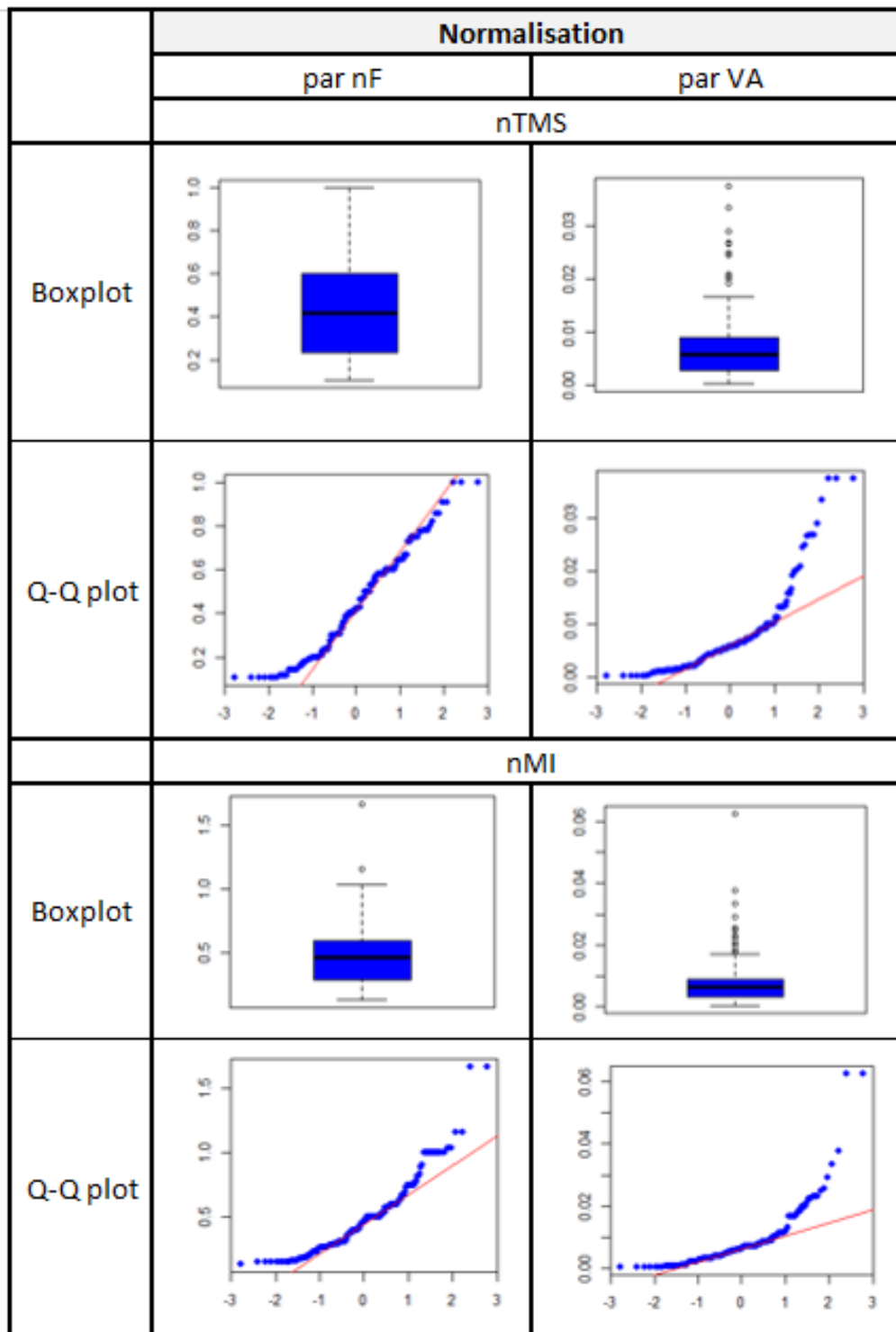


Figure 6 : Tableau comparatif de résultats d'analyse de variable après normalisation en divisant les indicateurs nMI et nTMS par les variables nF ou VA. Le boxplot : le trait noir montre la médiane de la variable, les traites fins les quantiles et les points à l'extérieur les valeurs aberrantes. Le QQplot compare la distribution des données observé à une distribution normale théorique (en rouge).

D. Fixer les points de changements dans les systèmes de culture : la variable étape

Afin de caractériser les modifications des systèmes de culture, la variable catégorielle « étape » a été créée pour fixer les situations les unes par rapport aux autres tel que : l'étape 1 correspond à la situation lors de l'entretien et l'étape 2 à la précédente. Plus l'étape est grande, plus on remonte dans le temps. La temporalité entre deux étapes varie entre 1 et 6 ans. Les étapes successives pour lesquelles les indicateurs étaient identiques n'ont pas été conservées dans le jeu de données tel que chaque situation est unique. Le nombre d'étapes est différent par exploitation. Lors des analyses, une incertitude a été constatée sur le traitement des données d'étapes sous-représentées. Nous avons décidé de limiter les modalités de la variable étape à un minimum d'un tiers d'exploitations représentées. Comme présenté dans la Figure 5, cela nous a emmené à limiter les trajectoires à huit étapes.

III. La normalisation des indicateurs.

Les exploitations viticoles sont soumises à des contraintes (pressions sanitaires, météo, topographie, main d'œuvre...) et à des pratiques très différentes (Salembier, 2019). Une normalisation est nécessaire afin de pouvoir comparer ces situations très différentes.

A. Surfacique ou parcellaire.

Pour comparer la complexité d'exploitations n'ayant ni la même surface ni le même nombre de parcelles, deux types de normalisations ont été envisagées pour harmoniser les indicateurs de complexité (nFI, nTMS, nMI et Wt): la normalisation surfacique, en divisant les indicateurs par la variable VA ou la parcellaire, en divisant par la variable nF. Nous pouvons voir dans la Figure 6 que les analyses ont été menées avec les deux méthodes et ont mis en évidence de meilleurs résultats pour la normalisation parcellaire. En effet, cette normalisation des indicateurs montre une meilleure distribution des résidus et une variance moindre. D'autre part, la complexification structurelle est caractérisée par une augmentation du nombre de parcelles. Cette méthode permet donc de retranscrire plus fidèlement la complexification.

Tableau 1 : Tableau explicatif des modalités de la variable catégorielle *taux* en fonction de la variable quantitative *reduc*.

x = reduc	taux
$x < 0,15$	A
$0,15 < x < 0,30$	B
$0,30 < x < 0,45$	C
$0,45 < x < 0,60$	D
$0,60 < x$	E

B. L'IFT de référence.

Pour normaliser l'IFT, l'indicateur *reduc* a été calculé. Celui-ci représente l'IFT de l'exploitation étudié comme un % de l'IFT régional tel que :

$$reduc = \frac{IFT}{IFT \text{ de référence régionale}}$$

Les données d'IFT de références régionales proviennent de la base de données du Service statistique ministériel de l'Agriculture. Des enquêtes sont menées tous les trois ans à l'échelle des exploitations sur un échantillon représentatif de 4 000 exploitations. Les données moyennes d'IFT des 6 régions viticoles de 2010, 2013 et 2016 ont été utilisées.

C. Taux de réduction.

Afin d'étudier l'évolution non-linéaire de la complexification en fonction du taux de réduction. La variable catégorielle « taux », fonction de la variable *reduc* a été créé tel que présentée dans le Tableau 1.

IV. L'analyse statistique pour étudier les indicateurs.

A. L'ACP.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode statistique qui consiste à transformer les variables initiales en un nombre réduit de variables, appelées composantes principales, qui sont des combinaisons linéaires des variables initiales. Les composantes principales sont ordonnées en fonction de leur contribution à la variance totale des données, de sorte que les premières composantes principales représentent la majorité de la variance. L'ACP est utile pour étudier des variables numériques, car elle permet de réduire la complexité des données en les représentant dans un espace de dimension réduite. Les indicateurs et les individus seront analysés par ACP utilisée car elle cette technique permet d'explorer la structure des données, détecter les relations entre les variables et identifier des groupes d'observations proches.

B. La modélisation linéaire mixte.

La modélisation linéaire est une technique statistique utilisée pour analyser la relation entre une variable dépendante (variable réponse) et une ou plusieurs variables indépendantes (variables explicatives). Elle permet de trouver la meilleure régression linéaire qui minimise les écarts entre les

valeurs observées et les valeurs prédites par le modèle. Dans notre cas, les observations ne sont pas indépendantes, car elles sont groupées par exploitation. Or, les modèles linéaires classiques ne tiennent pas compte de la variation entre les groupes. Les modèles linéaires mixtes permettent de modéliser cette variation en utilisant des effets aléatoires pour les groupes, tout en conservant les effets fixes pour les variables individuelles. Cela permet de prendre en compte la structure hiérarchique des données et de fournir des estimations plus précises des effets des variables individuelles.

Lors de l'utilisation de modèles linéaires, certaines hypothèses doivent être vérifiées pour que les résultats soient valides et fiables pour permettre la validation de la méthode. Deux hypothèses importantes sont la normalité des résidus (ou des erreurs) et l'homoscédasticité (variance constante des résidus). Le test de normalité de Shapiro évalue si les résidus du modèle suivent une distribution normale et le test de Levene vise à détecter si les résidus présentent une variance constante à travers différentes valeurs de la variable prédite. En fonction des résultats de ces tests, différentes approches peuvent être envisagées pour ajuster le modèle linéaire.

Si les résidus ne suivent pas une distribution normale, un modèle linéaire généralisé (GLM) peut être utilisé. Les GLM étendent les modèles linéaires traditionnels pour inclure des distributions autres que la normale pour les résidus. Les GLM permettent également d'utiliser des fonctions de lien pour modéliser la relation entre les variables explicatives et la variable réponse. Si de l'hétéroscédasticité est détectée, des techniques de transformation des données (par exemple logarithmique) peuvent permettre de stabiliser la variance des résidus. De plus, les GLM peuvent traiter l'hétéroscédasticité.

C. Les critères de sélection du modèle.

Plusieurs types de modèles sont possibles selon : le type général ou généralisé, la transformation de variable et la fonction de lien utilisés.

Les modèles candidats seront testés afin d'identifier celui le plus approprié au jeu de données. Le graphique des résidus vs prédis est un outil important pour évaluer la qualité d'un modèle. Il permet de visualiser la distribution des résidus en fonction des valeurs prédites par le modèle. Chaque point représente la distance entre la variable réponse et la réponse prédite. Les résidus doivent être répartis de manière aléatoire autour de zéro, sans aucune tendance visible, avec une variance constante et une distribution normale. Ceci est le premier critère de fiabilité.

Ensuite, la méthode de l'AIC (Akaike's Information Criterion) est une méthode statistique permet de choisir le meilleur modèle parmi un ensemble de modèles candidats. Cette méthode évalue la représentation des données et le surajustement.

En combinant ces deux méthodes, il est possible d'évaluer la fiabilité d'un modèle et de choisir le plus fiable entre les différents candidats.

D. Relations étudiées.

Afin d'étudier les hypothèses posées dans la partie précédente, nous avons étudié plusieurs relations grâce à la modélisation linéaire mixte :

- Pour tester l'hypothèse « les indicateurs évoluent avec les temps », l'effet de la variable catégorielle « étape » en effet fixe a été étudié sur les variables quantitatives « indicateurs de complexités normalisés ». La variable exploitation est finie comme un facteur aléatoire.
- Afin de tester l'hypothèse « la réduction de l'usage des phytosanitaires entraîne une complexité du système de culture », l'effet des variables quantitatives « reduc » en effet fixe ont été étudiés sur les indicateurs de complexité. La variable exploitation est définie comme un facteur aléatoire.

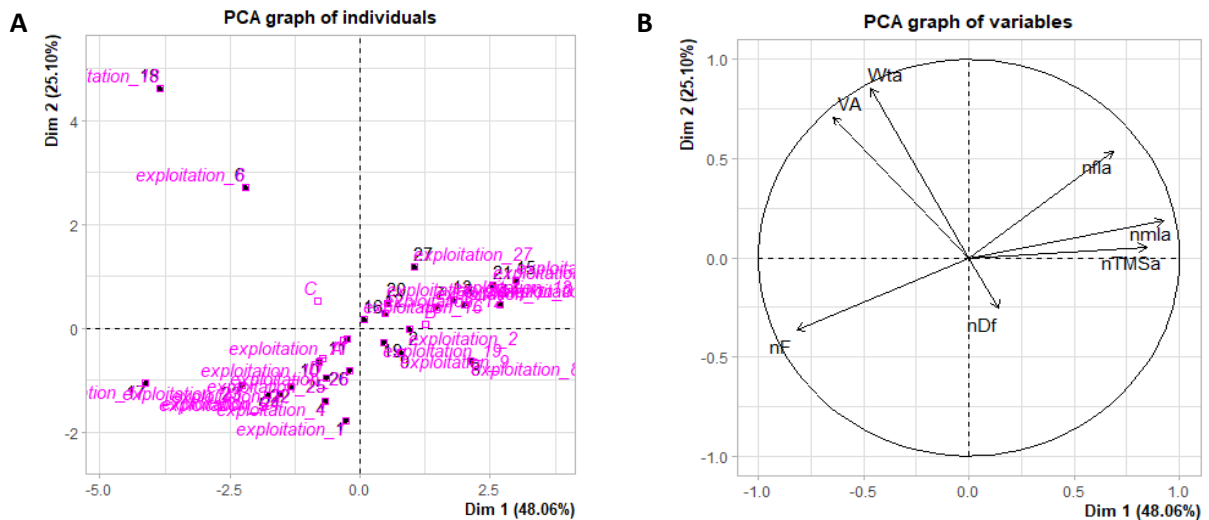


Figure 7 Projection des deux premières dimensions de l'analyse par composante principale (ACP). A : Dispersion des parcelles, B : Projection des variables.

Tableau 2: Tableau des cosinus carrés : représentation des variables selon les 5 dimensions de l'ACP.

Variable	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
VA	0.413	0.502	0.067	0.012	0.001
nF	0.667	0.135	0.014	0.079	0.103
nDf	0.021	0.066	0.810	0.101	0.002
nfla	0.472	0.289	0.060	0.066	0.112
nTMSa	0.715	0.003	0.108	0.150	0.001
nmIa	0.860	0.035	0.018	0.049	0.001
Wta	0.216	0.728	0.044	0.001	0.008

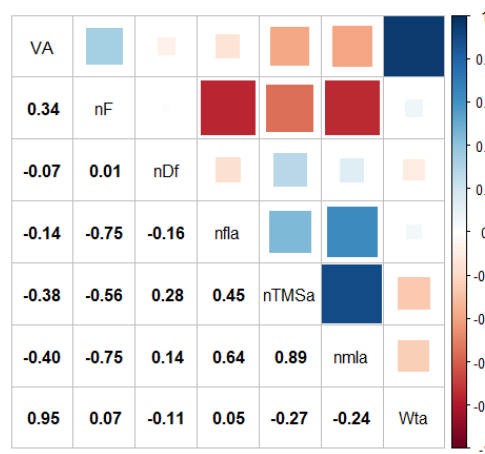


Figure 8 Diagramme de corrélation entre les indicateurs. En bleu, les corrélations positives et en rouge les négatives. En chiffre les coefficients de corrélations associés.

RESULTATS.

I. Les indicateurs de complexité.

A. Analyse des relations entre indicateurs et complexité.

Une analyse par Composantes Principales sur les individus et les indicateurs de complexité permet l'exploration du jeu de données et l'étude des relations entre les indicateurs au moment de l'enquête.

Les deux premières dimensions de l'ACP représentent près des trois-quarts de la variance totale, soit 73,15% (Figure 7). Sur le graphique des individus (Figure 7a), la majorité des exploitations présentent une proximité dans l'espace des composantes principales. Cela traduit une bonne représentativité du jeu de données sur ces dimensions. Cependant, deux exploitations semblent isolées, l'exploitation 18 et 6, qui sont sur-représentées dans la dimension 2 (respectivement 4.61 et 2.70).

Le cercle des corrélations (Figure 7b) représente les vecteurs associés aux variables. Les longueurs de ces vecteurs sont supérieures à 0.5. Cela montre que les variables sont majoritairement bien représentées dans les dimensions de l'ACP. Néanmoins, la longueur du vecteur associé à l'indicateur nDf est court. Le tableau des cosinus carrés (Tableau 2) permet de montrer si les axes traduisent bien l'information ou non. L'indicateur nDf se démarque des autres variables. nDf est peu représenté sur les deux premières dimensions (2% et 6%) mais s'exprime indépendamment sur la troisième (83%).

Les vecteurs associés aux variables nMIa et nTMSa sont très proches et traduisent la même information sur l'axe 2 (0,003 et 0,035). La matrice des corrélations (Figure 8) montre par ailleurs que le nombre d'itinéraires techniques (nTMSa) et le nombre d'indicateurs de gestion (nMIa) sont corrélés positivement ($R=0,89$).

Les vecteurs associés aux variables VA et Wta ont une forte proximité et pointent vers la même direction. Ces variables contribuent majoritairement à l'axe 2 (50 et 73%). La surface du vignoble (VA) et le temps de travail (Wta) sont positivement corrélés ($R=0,95$).

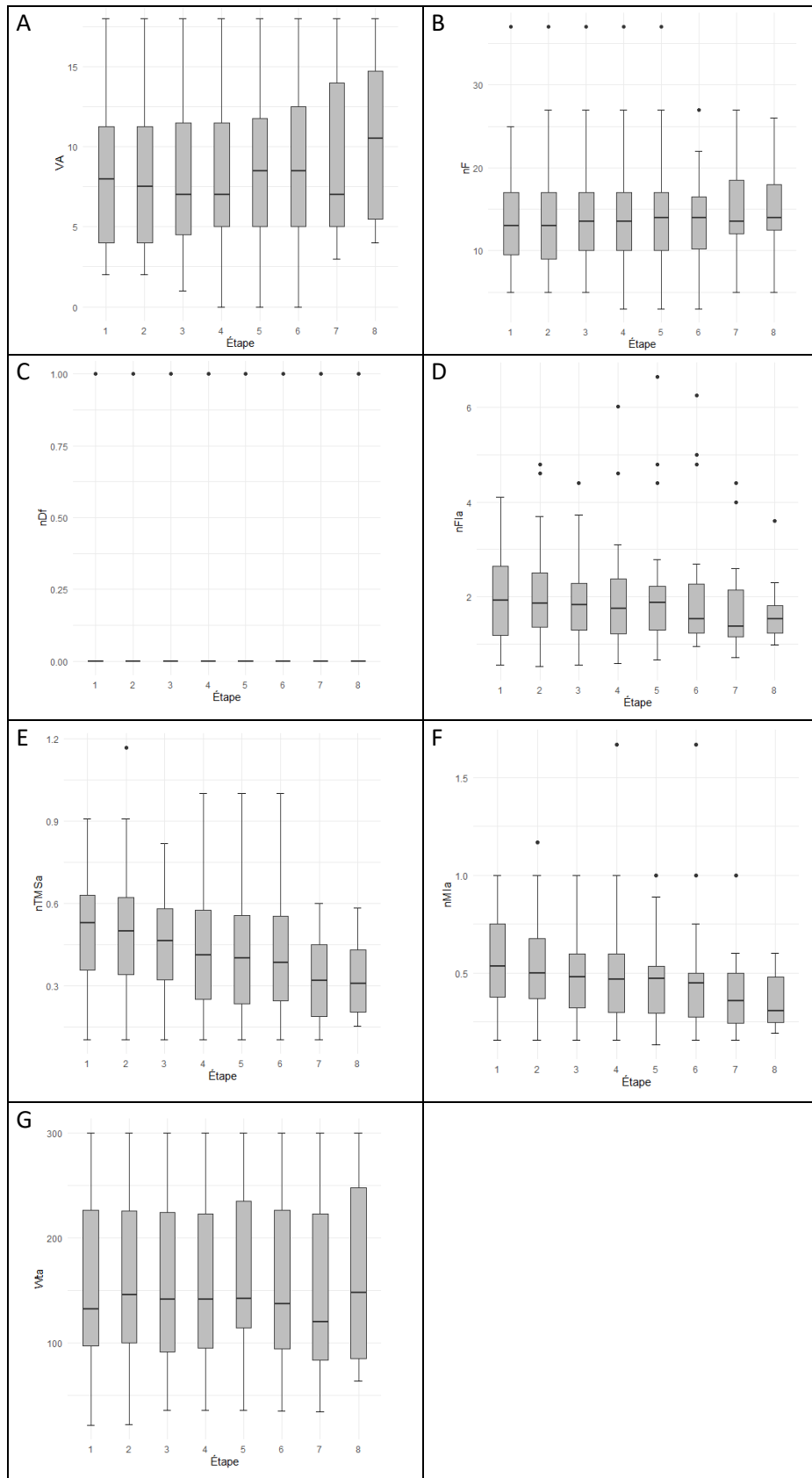


Figure 9 : Représentation en boxplot des indicateurs en fonction des modalités de la variable étape tel que : $a=VA$, $b=nF$, $c=nDf$, $d=nFia$, $e=nTMSa$, $f=nMia$, $g=Wta$. En noir : la médiane, en gris la plage interquartile, les lignes noires représentent le premier (Q1) et le troisième quartile (Q3).

Enfin, le vecteur du nombre de parcelles en production (nF) affiche une direction opposée au vecteurs nMIa, nTMSa et nFla. Cela traduit une forte relation inverse dans l'espace de l'ACP tel que nF est négativement corrélé à ces indicateurs ($R=-0,75$).

B. Analyse de l'évolution dans le temps des indicateurs de complexité.

Afin de visualiser l'évolution des indicateurs dans le temps, ils sont représentés en fonction des modalités de la variable étape (Figure 9). L'étape 1 correspond à l'étape la plus récente et est présente dans toutes les exploitations enquêtées. Cette modalité constitue la référence temporelle. Les modalités supérieures sont chronologiquement antérieures. Malgré une forte variance des données caractérisée par des écarts inter-quantiles importants, des tendances sont observables.

De plus, l'effet de la variable étape sur les indicateurs est analysé par GLMM (Tableau 3). Les hypothèses de normalités des indicateurs ne sont pas validées (Shapiro test, $p\text{-value} > 0,05$) et les transformations de variable n'ont pas donné de résultats satisfaisants. En ce sens, la modélisation linéaire généralisée a été privilégiée. Le seuil de significativité est fixé à 5%.

La représentation de la variable VA en fonction des différentes étapes (Figure 9A) affiche une forte variabilité des médianes. Néanmoins, nous observons une tendance dans l'évolution des étendues inter-quantiles. Elle suggère un accroissement de la superficie des vignobles en remontant dans le temps. Cet effet est significatif par modélisation linéaire.

Les représentations des variables nF et Wta (Figures 9B et 9G) ne montrent pas de tendances d'évolutions au cours du temps. Dans les GLMM, la variable étape n'a pas d'effet significatif sur la variable nF, mais à toutefois un effet significatif sur la variable Wta. Les données disponibles n'ont pas permis de représenter le nombre de parcelles difficile nDf en fonction des modalités de la variable étape. Les données comprennent une surabondance des données nulles et une faible amplitude.

Les représentations des indicateurs nMIa et nTMSa (Figures 9E et 9F) affiche de diminution ces variables en fonction des étapes. De plus, la modélisation linéaire démontre un effet significatif de la variable étape sur ces indicateurs ($p\text{-value}= 0,07$ et $0,08$). Cela démontre la tendance d'évolution du nombre d'itinéraires techniques et du nombre d'indicateurs de gestion au cours du temps. Le nombre d'interventions au champ (nFla) est représenté en fonction de la variable étape dans la Figure 9D. Une diminution des médianes et des écarts inter-quantiles est observé. Néanmoins, l'effet e la variable etape n'est pas significatif sur la variable nFla par modélisation linéaire.

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des modèles choisis pour modéliser les indicateurs en fonction de la variable étape. Test d'hypothèse de normalité (Shapiro) et d'homoscédasticité (Levene) : si $< 0,05$, on rejette l'hypothèse nul. GLMER : Modèle linéaire généralisé mixte. Fonction de lien de correction de la distribution.

Variable à expliquer	Test hypothèses		Modèle				Effet fixe
	Shapiro	Levene	Type	Fonction de lien		F-Value	p-value
VA	2.117e-05	0.9976	GLMER	Poisson	VA - etape + 1 exploitation	20,78	2.2e-16***
nF	6.311e-09	0.9929	GLMER	Gaussian	nF - etape + 1 exploitation	0.5431	0.7128
nFla	6.056e-12	0.9401	GLMER	Gamma	nFla - etape + 1 exploitation	0.4754	0.557
nTMSa	0.0001209	0.7209	GLMER	Gaussian	nTMSa - etape + 1 exploitation	3.8932	1.572e-07***
nMla	2.79e-10	0.8315	GLMER	Gamma	nMla - etape + 1 exploitation	3.873	3.453e-07***
Wta	8.082e-08	0.9992	GLMER	Gaussian	Wta - etape + 1 exploitation	23.05	2.2e-16***

II. Analyse du lien entre indicateurs de complexité et réduction de l'IFT.

A. Évolution des indicateurs de complexité en fonction de la variable *reduc*.

La Figure 10 présente les graphiques des indicateurs de complexité en fonction de la variable d'usage des pesticide *reduc*. Le Tableau 4 récapitule les modèles linéaires généralisés qui ont été choisis pour modéliser les indicateurs en fonction de la variable *reduc*. Compte tenu de la nature et de la variance des données, le seuil de significativité est fixé à 10%. L'indicateur *reduc* représente le % d'utilisation de phytosanitaire en IFT par rapport à l'IFT régional, tel que si la variable est nulle, alors le viticulteur a un IFT égal à zéro. Au contraire, si *reduc* est égal à 0,8 alors l'IFT de l'agriculteur est égal à 80% de l'IFT régional. Compte tenu du faible nombre de changements observés, la variable *nDf* du nombre de parcelles difficile n'a pas été représenté.

La courbe de tendance de l'indicateur VA (Figure 10A) en fonction de la variable *reduc* montre une légère tendance de diminution de *reduc*, lorsque la superficie du vignoble augmente. Cet effet est significatif ($p\text{-value}=0,06$). En ce sens, Figure 10B, on observe que plus les viticulteurs ont de parcelles *nF* plus ils ont tendance à utiliser des produits phytosanitaires. Toutefois, cet effet n'est pas significatif ($p\text{-value}=0,51$).

Les Figure 10D et 10E montrent clairement que l'indicateur d'utilisation de pesticide *reduc* diminue quand les indicateurs de complexité *nMla* et *nTMSa* augmentent. Cet effet est significatif ($p\text{-value}=0,07$ et $0,08$). À l'inverse, la Figure 10C montre que la variable *reduc* diminue quand l'indicateur du nombre d'interventions *nFla* diminue. En effet, la modélisation linéaire montre que *nFla* est négativement corrélé à l'usage de pesticides ($p\text{-value}=0,02$).

La Figure 10F montre que le temps de travail *Wt* augmente quand l'utilisation de PPP augmente. Toutefois, l'effet n'est pas significatif ($p\text{-value}=0,81$).

B. Représentation des indicateurs en fonction de la variable *taux*.

Pour représenter non linéairement les relations entre les indicateurs et la variable *reduc*, les indicateurs ont été représentés en fonction de la variable catégorielle *taux* (Figure 11). La modalité A correspond à l'usage minimum de pesticides et la modalité E à l'utilisation maximum. Une comparaison des moyennes de chaque modalité par test du Tukey a été effectuée et les résultats sont annotés sur la Figure 7. L'effet de la variable *taux* a également été testé par modélisation linéaire (Tableau 5).

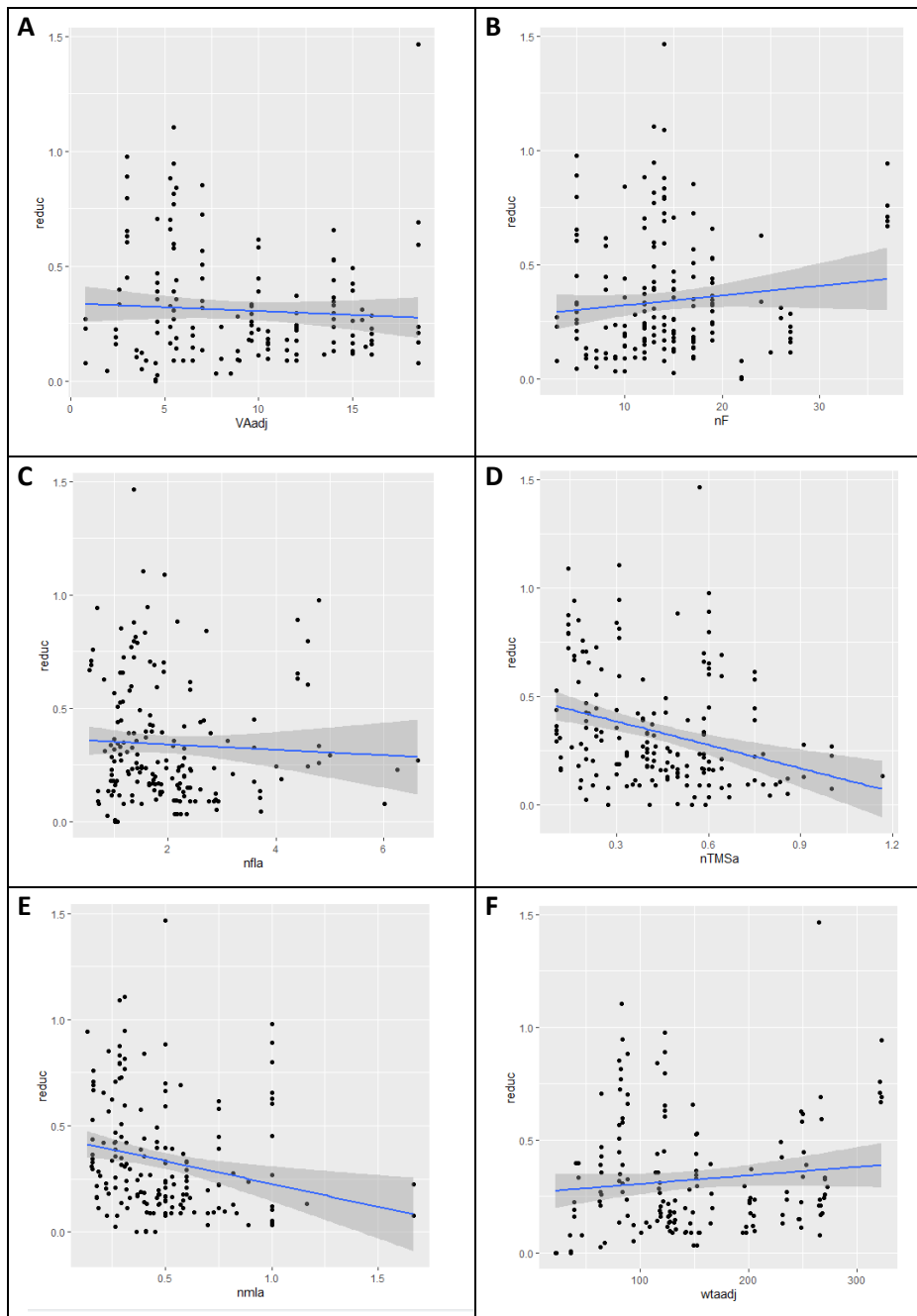


Figure 10 : Représentation en boxplot des indicateurs en fonction de la variable *reduc* tel que: $a=VA$, $b=nF$, $c=nFia$, $d=nTMSa$, $e=nMla$, $f=Wta$. En noir : la médiane, en gris la plage interquartile, les lignes noires représentent le premier (Q1) et le troisième quartile (Q3).

La variable VA (Figure 11a) montre une dynamique de réduction en fonction de la variable catégorielle. Cependant, la première modalité (A) se distingue en venant casser tenance générale. Le test de comparaison de moyenne montre que cette modalité est significativement différente de la modalité D et B et correspond aux plus petites valeurs surface de vignoble VA.

Le comportement de la variable nF montre une légère augmentation du nombre de parcelles en production en fonction de la variable taux (Figure 11b). Cependant, cette tendance n'est pas significative au test de Tukey à 95%. Les écarts interquartiles importants indiquent une forte variabilité des données pour les modalités A, B et C.

Sur Figure 11c on distingue une diminution du nombre d'interventions nFla en augmentant l'usage de phytosanitaire. Cette tendance est homogène, tel que les tests de comparaison de moyennes affichent une différence significative entre les modalités A et E. Sur les Figures 11d et 11e, nTMSa et nMla affichent une diminution des indicateurs en augmentant l'usage des pesticides. Cependant, cette tendance n'est pas significative.

La Figure 11f montre que la variable de temps de travail Wta semble avoir un comportement homogène en fonction des modalités de la variable taux. Cependant, de même que pour l'indicateur VA, on remarque que la première modale (A) vient casser la dynamique générale. Tandis que le maximum du temps de travail Wt correspond à la modalité B, le temps de travail dans l'exploitation diminue lorsque le seuil d'usage de pesticide de 0,15% de l'IFT régional (modalité A). Les écarts-interquartiles et les médianes importantes indiquent une forte variance dans le jeu de données

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des modèles choisis pour modéliser les indicateurs en fonction de la variable *reduc*. Test d'hypothèse de normalité (Shapiro) et d'homoscédasticité (Levene) : si $< 0,05$, on rejette l'hypothèse nul. GLMER : Modèle linéaire généralisé mixte. Fonction de lien de correction de la distribution.

Variable	Test hypothèses		Modèle				Effet variable	
	Shapiro	Bp test	Type		F-Value	Coefficient	p-value	
VA	2.117e-05	0.1209	GLMER	Poisson	VA - reduc + 1 exploitation	3,4861	2.694e-05	0.0619
nF	6.311e-09	0.01102	GLMER	Gaussian	nF - reduc + 1 exploitation	0.3898	3.242e-05	0.5183
nFia	6.056e-12	0.5383	GLMER	Gamma	nFia - reduc + 1 exploitation	3,9094	0.0001732	0.02211*
nTMSa	0.0001209	0.9484	GLMER	Gaussian	nTMSa - reduc + 1 exploitation	2,4071	-0.000181	0.0876
nMla	2.79e-10	0.9258	GLMER	Gamma	nMla - reduc + 1 exploitation	2,2428	-1.490e-04	0.0791
Wta	2.215e-06	0.8476	GLMER	Gaussian	Wta - reduc + 1 exploitation	0.0119	8.418e-06	0.819

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des modèles choisis pour modéliser les indicateurs en fonction de la variable *taux*. Test d'hypothèse de normalité (Shapiro) et d'homoscédasticité (Levene) : si $< 0,05$, on rejette l'hypothèse nul. GLMER : Modèle linéaire généralisé mixte. Fonction de lien de correction de la distribution.

Variable	Test hypothèses		Modèle				F-Value	p-value
	Shapiro	Levene	Type					
VA	2.117e-05	0.6528	GLMER	Poisson	VA - taux+ 1 exploitation	4.8383	0.0006737	
nF	6.311e-09	0.1506	GLMER	Gaussian	nF - taux + 1 exploitation	0.3973	0.7502	
nFia	6.056e-12	0.5959	GLMER	Gamma	nFia - taux + 1 exploitation	1.5808	0.04059	
nTMSa	0.0001209	0.6288	GLMER	Gaussian	nTMSa - taux + 1 exploitation	0.4845	0.5717	
nMla	2.79e-10	0.3034	GLMER	Gamma	nMla - taux + 1 exploitation	0.7923	0.305	
Wta	2.215e-06	0.248	GLMER	Gaussian	Wta - taux + 1 exploitation	0.8291	0.5121	

DISCUSSION.

I. La complexité dans les systèmes de production.

L'étude des indicateurs de complexité structurelle et fonctionnelle en fonction de l'usage des pesticides a permis d'apporter une vue sur l'effet de la réduction de pesticides sur les systèmes agricoles et leurs caractéristiques.

A. Evolution temporelle.

L'étude a validé l'hypothèse « la complexité structurelle et fonctionnelle des systèmes de production viticole français évolue dans le temps lors de transitions vers des systèmes plus économes en pesticide ». Ces résultats sont cohérents avec la bibliographie qui montre que les exploitants agricoles font constamment évoluer leurs systèmes de production (Sanginga et al., 2009). Ces évolutions sont biophysiques (VA), techniques (nTMS et Wt), et décisionnelles (nMI).

Evolution structurelle.

L'évolution dans le temps de la complexité structurelle a été mise en évidence par l'effet significatif de la variable étape sur la superficie du vignoble VA. Cela suggère que la surface d'une exploitation viticole évoluant vers des systèmes de production économes en pesticides est dynamique. L'étude par la modélisation linéaire a démontré que le nombre de parcelles en production nF et le nombre de parcelles difficiles nDf n'ont pas d'évolutions significatives par rapport à la variable étape et seraient constants dans le temps étudié. L'évolution de la surface pourrait être la résultante d'une évolution dans la taille des parcelles. D'une part, l'achat ou la cession de bouts de parcelles peuvent être effectués par le viticulteur. D'autre part, un regroupement ou une fragmentation du parcellaire existant sont envisageables. Ces résultats questionnent les motivations de ces changements et posent l'hypothèse d'un levier parcellaire dans la réduction de l'usage des pesticides.

L'indicateur nDf est peu représenté dans les deux premières dimensions de l'ACP. Cela s'explique par le fait que la quantité de valeur non nulle et l'amplitude des données étaient faibles. Peu de viticulteurs ont identifié des parcelles difficiles dans leur exploitation et le maximum du nombre de parcelles difficiles nDf par exploitation est de 1. Cette observation met en évidence la nécessité de réévaluer la pertinence de l'indicateur nDf dans le cadre de l'étude.

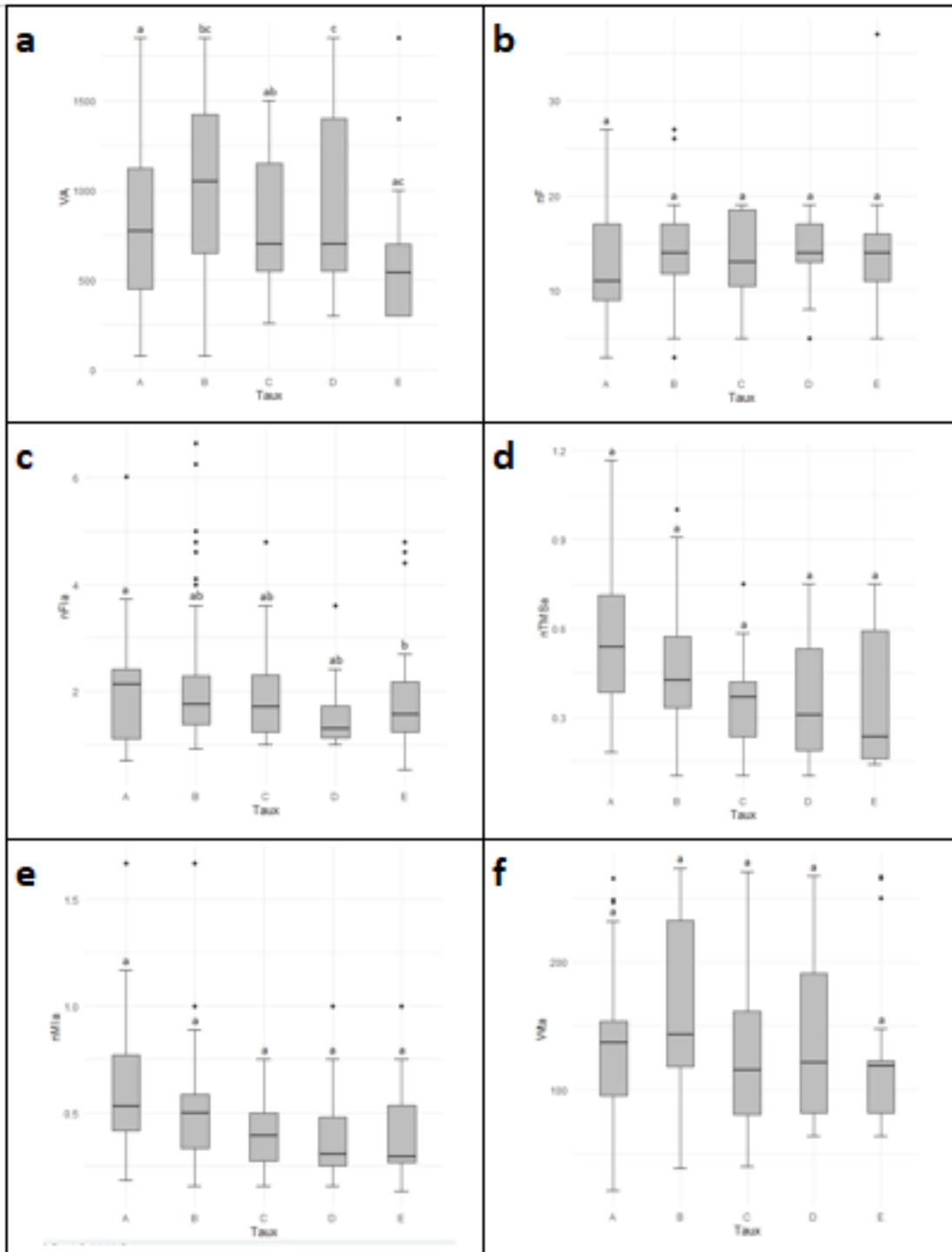


Figure 11 : Représentation en boxplot des indicateurs en fonction des modalités de la variable taux tel que : a=VA, b=nF, c=nFla, d=nTMSa, e=nMla, f=Wta. En noir : la médiane, en gris la plage interquartile, les lignes noirs représentent le premier (Q1) et le troisième quartile (Q3). Les résultats de la comparaison multiple (test de Tukey) sont indiqué au-dessus des boîtes tel que : si 2 modalités ont des annotations différentes alors la différence est significative.

Evolution fonctionnelle

L'évolution de la complexité fonctionnelle est caractérisée par l'effet significatif de la variable étape sur le nombre d'itinéraires techniques nTMS, d'indicateurs de gestion nMI et du temps de travail Wt. Ces évolutions peuvent être caractérisées par la plantation d'un nouveau cépage, un changement de matériel ou de pratique au sein du domaine. La corrélation entre les indicateurs nTMS et nMI est dû au fait que les itinéraires techniques différents selon les modalités d'un indicateur de gestion. Par exemple, si un cépage est caractérisé par une croissance végétative plus importante de la vigne, alors les parcelles plantées avec celui-ci sont effeuillées plus sévèrement, taillées en plusieurs fois ou encore traitées davantage que les autres parcelles du vignoble. De même, la corrélation entre la surface du vignoble VA et le temps de travail annuel Wt, est cohérente dans la mesure où VA est utilisé dans le calcul du temps de travail Wt. Comme présenté en ANNEXE IV, le temps de travail (en heures) de chaque pratique est dépendant de la superficie sur laquelle elle a été réalisée (en hectares).

B. Complexification et réductions de pesticide.

Tout d'abord, l'étude a permis de valider l'hypothèse de départ selon laquelle « la réduction d'usage des produits phytosanitaires entraîne une complexification structurelle, technique et décisionnelle des systèmes de production viticoles français ». En effet, la modélisation linéaire a montré que les indicateurs de complexité biophysiques (VA), techniques (nTMS et nFI), comme décisionnelles (nMI) sont négativement corrélés à l'utilisation de pesticides. Ces résultats sont cohérents avec les travaux de (Merot & Wery, 2017) qui ont montré une complexification des systèmes de production viticoles lors de la conversion à l'agriculture biologique.

La diminution d'usage des pesticides impose des mesures prophylactiques pour prévenir les potentiels risques sanitaires dans le vignoble (Lamichhane et al, 2016), ce qui augmente considérablement le nombre de passages dans les cultures. Il a été mis en évidence que la viticulture biologique nécessite une meilleure caractérisation et compréhension en temps réel du comportement et de la dynamique du sous-système biophysique que la viticulture conventionnelle (Merot, Fermaud, et al., 2020). Le viticulteur doit prendre en compte la diversité de ses champs pour mieux ajuster les interventions, augmentant ainsi le nombre d'itinéraires techniques. Par exemple, dans la majorité des cas étudiés, les cépages sont classés selon leurs sensibilités aux maladies afin d'ajuster les traitements.

L'économie d'échelle

La superficie du vignoble VA est négativement corrélée à l'utilisation de pesticide dans l'étude. Les alternatives aux pesticides impliquent des investissements lourds (INOSYS, 2018). Ces investissements peuvent être plus facilement endurés dans les domaines où les ressources financières sont plus importantes.

Le levier parcellaire

La modélisation linéaire n'a pas montré d'effet significatif de la variable *reduc* sur le nombre de parcelles en production *nF*. Cela suggère que le parcellaire n'a pas de lien avec la consommation de pesticide. Ce levier a pourtant été identifié comme étant un levier structurel dans la réduction de l'usage des pesticides dans le cadre de la conversion d'exploitations viticoles vers l'agriculture biologique (Merot & Wery, 2017). L'échantillon étant composé d'exploitations très avancées dans la réduction des phytos, nous pouvons émettre l'hypothèse que le levier parcellaire avait déjà été mis en place a posteriori et que l'amplitude temporelle de l'étude n'a pas permis de capturer les variations de celui-ci.

Compenser la complexification

Dans l'étude, l'usage de pesticide n'a pas d'effet significatif sur le temps de travail *Wt*. Ce résultat est cohérent avec les travaux de (Fouillet, 2022) qui n'ont pas trouvé de lien entre le temps de travail mécanique et l'utilisation d'herbicides des exploitations viticoles du réseau DEPHY. Cependant, la représentation de la surface de production VA et du temps de travail *Wt* par rapport à la variable *taux* montre une rupture de la tendance de diminution globale dans la modalité d'usage de pesticides la plus basse. Cela suggère un levier de compensation de la complexification par diminution de la surface de production.

II. Les points forts et les limites de l'étude.

A. Les points forts.

L'obtention de résultats significatifs dans cette étude, compte tenu de la complexité et de la nature des données analysées, démontrent la pertinence de l'approche utilisée. Cela témoigne de l'efficacité de la méthodologie d'analyse pour extraire des informations à partir des entretiens. Un des points forts de l'étude réside dans la vaste diversité de systèmes viticoles étudiés. Ceux-ci sont issus de différentes régions viticoles françaises et sont plus ou moins avancés dans la réduction de pesticides, renforçant la pertinence des résultats. De plus, les exploitations enquêtées représentent des sources d'innovations alternatives à la recherche conventionnelle dont certaines sont partie prenante. D'autres

études dans le cadre du projet VITAE, permettront d'affiner les connaissances des solutions mises en place et de leurs effets par les viticulteurs.

B. Les limites de l'échantillon.

L'échantillon de cette étude est fortement centré et limité aux exploitations viticoles de moins de 30 hectares. L'analyse en composantes principales (ACP) des données a révélé que deux exploitations, avec des superficies de 80 et 120 hectares, se distinguent nettement des autres dans le graphique d'inertie des individus sur les deux premières dimensions. De plus, ces deux exploitations ont présenté des valeurs aberrantes lors des analyses sur les indicateurs, suggérant un déséquilibre significatif dans l'échantillon. Les travaux de (Fouillet, 2022) ont montré que le seuil de 50% de réduction d'usage des pesticides comparé à l'IFT régional était un point charnière. En regardant sous le prisme des stratégies ESR, les changements de pratique au-dessus de ce seuil sont principalement des changements de type Efficience et Substitution (E/S) alors que passer le seuil des 50% de réduction implique des changements de types Reconception (R). Il serait intéressant de mettre en évidence cette tendance dans l'étude. Or, la grande majorité des exploitations sont en dessous de ce seuil, ce qui ne permet pas l'amplitude de données suffisante pour y parvenir.

Pour corriger cette disparité, des enquêtes supplémentaires sont nécessaires, mais la contrainte de temps liée à la réalisation des enquêtes et à l'acquisition des données ont limité cette possibilité dans le cadre du stage.

C. Les faiblesses des entretiens.

La collecte de données par le biais d'entretiens semi-directifs présente plusieurs limites. Tout d'abord, les réponses des personnes interrogées peuvent être influencées par les discours des enquêteurs et leur humeur au moment de l'entretien. La spontanéité, la quantité et la qualité des détails fournies peuvent ainsi fortement varier (Lefèvre, 2019). De plus, l'enquête rétrospective basée sur la mémoire des agriculteurs peut être sujette à des biais de subjectivité (Demazière, 2007). Enfin, les entretiens ont été menés par trois enquêteurs différents entraînant une certaine variabilité dans les interactions avec les participants. Cela peut influencer les informations qui ont été recueillies.

Des efforts ont cependant été déployés pour minimiser ces problèmes. L'utilisation de frises chronologiques et de cartes du parcellaire a aidé à remémorer les événements et à gagner en précision. De plus, les viticulteurs ont été recontactés.

D. Les choix des indicateurs.

Les indicateurs de complexité.

L'étude se base majoritairement sur des indicateurs relativement récents développés par l'étude de Merot et Wery dans le cadre de la transition viticole vers l'agriculture biologique. Cela soulève des questions quant à leur pertinence pour évaluer des transitions différentes. Par exemple, l'indicateur du nombre de parcelles difficiles nDf s'est montré peu adapté à l'étude de systèmes de production très avancées dans la réduction de l'usage de produits phytosanitaires.

La variable « étape ».

Dans la première partie de l'étude, l'utilisation de la variable étape pose question. Le point de départ de chaque exploitation dans la transition étant différente, les données au sein d'une même étape ne reflètent pas nécessairement les mêmes pratiques. Des recherches antérieures, ont pourtant montré que les stratégies varient significativement entre le début et la fin de la réduction (Fouillet, 2022). Cette étude mélange des étapes qui n'ont pas la même signification au point de vue réduction d'usage des pesticides, ce qui peut biaiser les résultats. Par conséquent, dans cette étude, la variable catégorielle a seulement permis d'étudier l'évolution temporelle des indicateurs de complexité.

L'IFT

L'indicateur de Fréquence de traitement (IFT) est sujet à controverse. Il ne fournit qu'une perspective limitée de l'impact environnemental des produits et ne tient pas compte de l'ensemble des conséquences potentielles de leurs usages (Zahm et Al, 2016). Par exemple, un traitement à pleine dose d'un CMR (cancérigène sévère mutagène et toxique pour la production) ou d'un produit cuivré aura la même valeur. De plus, certains produits comme les PNPP (produit non-préoccupant) et le soufre ne sont pas comptabilisés dans l'IFT, ce qui peut dans le cadre de l'étude, ne pas refléter correctement les pratiques mises en place et la dépendance des systèmes à ces produits.

De plus, le calcul de l'IFT en fonction de la quantité de cuivre métal ne tient pas compte du produit utilisé par le viticulteur. Or, la quantité de cuivre métal peut fortement varier, de 0,63kg à 3kg par dose homologué (ANNEXE 4).

E. Les faiblesses de la modélisation linéaire.

L'étude par modélisation linéaire pose question dans l'étude. Ce type de modélisation suppose une relation linéaire entre les variables. Or, les représentations des indicateurs de surface du vignoble VA et du temps de travail Wt en fonction de la variable taux (Figures 11a et 11f) ont suggéré un comportement non linéaire. De ce fait, il peut être nécessaire d'explorer des méthodes de modélisation plus adaptées pour mieux comprendre la relation entre ces variables.

CONCLUSION

L'étude a mis en évidence que la complexité d'un système de culture viticole évolue ans le temps. La réduction de l'usage des pesticides dans la viticulture augmente la complexité des trois sous-systèmes de culture : biophysique, technique et décisionnel.

Néanmoins, certaines solutions ont été identifiées permettant de compenser cette complexification. Tout d'abord, une réduction de la surface de production peut rendre le système soutenable sans augmenter les ressources financières et humaines de l'exploitation. D'autre part, une simplification du système de production peut également être une solution. Enfin, des économies d'échelle peuvent permettre de rendre la complexification soutenable sans modifier le système de production.

Prévenir cette complexification à l'échelle de l'exploitation pourrait être un outil intéressant à la réussite de sa transition agricole. Établir un diagnostic préalable de la complexité permettrait d'identifier les leviers de simplification et de pérenniser la transition de l'exploitation.

PERSPECTIVES

Un échantillonnage ayant une diversité plus importante d'exploitations, plus particulièrement dans leur avancement dans la réduction d'usage des pesticides serait une perspective intéressante. Cela donnerait à l'étude une vision plus globale des transitions des systèmes viticoles conventionnelles, vers des systèmes plus économes en PPP. D'autre part, étendre l'étude à d'autres filières agricoles très consommatrices de pesticides comme l'arboriculture fruitière par exemple pourrait permettre d'élargir la portée de ses conclusions. Les agriculteurs qui innent se livrent à des expérimentations et à des essais-erreurs (Deffontaines et al., 2020). Dans ce sens, intégrer à l'étude les pratiques mises en place et leur évolution permettrait d'identifier les erreurs qui ont été faites afin de mieux conseiller les viticulteurs.

L'arrêt de l'usage des pesticides entraîne une perte de rendement. Par exemple, l'étude (INOSYS, 2018) a montré que l'arrêt de l'usage d'herbicide en viticulture a eu pour conséquence, une diminution de 3% à 22% du rendement agricole dans l'échantillon de domaine étudié. Il serait intéressant de mener une étude technico-économique afin d'identifier les stratégies de compensation économique autre que l'augmentation du prix de vente dans ces transiions.

Bibliographie

- AAF. (2023). *01.02.R02 : Evolution du rendement moyen annuel du blé France entière de 1815 à 2021 | Académie d'Agriculture de France*. <https://www.academie-agriculture.fr/publications/encyclopedie/reperes/0102r02-evolution-du-rendement-moyen-annuel-du-ble-france-entiere>
- Agreste. (2020). *RA 2020—Cultures détaillées par département—Disar-Saiku*. https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-saiku/?plugin=true&query=query/open/RA2020_1013#query/open/RA2020_1013
- Agreste. (2023). *Enquête Pratiques culturales en viticulture en 2019—IFT et nombre de traitements | Agreste, la statistique agricole*. <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Chd2304/detail/>
- Aida. (2009). *Règlement n° 1107/2009 du 21/10/09 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil | AIDA*. <https://aida.ineris.fr/reglementation/reglement-ndeg-11072009-211009-concernant-mise-marche-produits-phytopharmaceutiques>
- Aubertot, J.-N., Barbier, J.-M., Carpentier, A., Gril, J.-N., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., & Voltz, M. (2007). *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Expertise scientifique collective Inra-Cemagref (décembre 2005)*.
- Aubry, C., & Michel-Dounias, I. (2006). *Systèmes de culture et décisions techniques dans l'exploitation agricole. Chapitre 2*. <https://hal.inrae.fr/hal-02812121>
- Bakker, T., Dugué, P., & de Tourdonnet, S. (2021). Assessing the effects of Farmer Field Schools on farmers' trajectories of change in practices. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(2), 18. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00667-2>
- Beckford, C., David, B., & Bailey, S. (2007). Adaptation, innovation and domestic food production in Jamaica : Some examples of survival strategies of small-scale farmers. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 28, 273-286. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9493.2007.00301.x>
- Belmin, R., Malézieux, E., Basset-Mens, C., Martin, T., Mottes, C., Della Rossa, P., Vayssières, J.-F., & Le Bellec, F. (2022). Designing agroecological systems across scales : A new analytical framework. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00741-9>
- Blenkinsop, S., Fowler, H. J., Dubus, I. G., Nolan, B. T., & Hollis, J. M. (2008). Developing climatic scenarios for pesticide fate modelling in Europe. *Environmental Pollution*, 154(2), 219-231. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.10.021>
- BNVD. (2023). *BNVD TRAÇABILITÉ*. <https://ventes-produits-phytopharmaceutiques.eaufrance.fr/search>
- Bourgeois, L., & Demotes-Mainard, M. (2000). Les cinquante ans qui ont changé l'agriculture française. *Économie rurale*, 255(1), 14-20. <https://doi.org/10.3406/ecoru.2000.5151>
- Bureau-Point, E., Barthélémy, C., Demeulenaere, E., Doudou, D. T., & Thivet, D. (2021). Les mondes agricoles face au problème des pesticides. Compromis, ajustements et négociations. Introduction au dossier. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 21 numéro 3*, Article Volume 21 numéro 3. <https://doi.org/10.4000/vertigo.34625>
- CA France. (2023, février 22). *Plan Ecophyto 2+*. <https://chambres-agriculture.fr/agriculteur-et-politiques/ecophyto/plan-ecophyto-2/>
- Carpentier, A., Dedryver, C.-A., Reau, R., Volay, T., Butault, J.-P., Darmency, H., Barbier, J.-M., Debaeke, P., Délos, M., Gary, C., Girardin, P., Guichard, L., Jean-Marc, M., Nicot, P., Pitrat, M., Rolland, B., Sauphanor, B., Viaux, P., & Walter, C. (2009). *Ecophyto R&D. Vers des systèmes de culture économes en pesticides. Volet 1. Tome I : Méthodologie générale*.
- Carroll, J. E., & Wilcox, W. F. (2003). Effects of humidity on the development of grapevine powdery mildew. *Phytopathology*, 93(9), 1137-1144. <https://doi.org/10.1094/PHTO.2003.93.9.1137>

- CNIV. (2023). *Vigne et terroir*. CNIV. <https://www.intervin.fr/de-la-vigne-au-vin/vigne-et-terroir>
- CNIV, 2023. (s. d.). *Chiffres clés*. CNIV. Consulté 17 mars 2023, à l'adresse <https://www.intervin.fr/etudes-et-economie-de-la-filiere/chiffres-cles>
- Coudel, E., Devautour, H., Soulard, C. T., Faure, G., & Hubert, B. (Éds.). (2012). *Renewing innovation systems in agriculture and food : How to go towards more sustainability?* Wageningen Academic Publishers. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-768-4>
- Deffontaines, L., Mottes, C., Della Rossa, P., Lesueur-Jannoyer, M., Cattan, P., & Le Bail, M. (2020). How farmers learn to change their weed management practices : Simple changes lead to system redesign in the French West Indies. *Agricultural Systems*, 179, 102769. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102769>
- Deguine, J.-P., Aubertot, J.-N., Flor, R. J., Lescourret, F., Wyckhuys, K. A. G., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management : Good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(3), 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00689-w>
- Demazière, D. (2007). Quelles temporalités travaillent les entretiens biographiques rétrospectifs ? *Bulletin of Sociological Methodology/Bulletin de Méthodologie Sociologique*, 93(1), 5-27. <https://doi.org/10.1177/075910630709300103>
- DRAAF. (2023, juillet 5). *Flavescence dorée*. <http://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/flavescence-doree-r37.html>
- Fouillet. (2022). *Analyse des changements de pratiques, de leurs trajectoires et des performances associées dans les systèmes viticoles du réseau DEPHY*.
- Goutille, F., & Garrigou, A. (2021). Traitements phytosanitaires en viticulture française et prévention du risque pesticides. Retour d'expérience d'une communauté élargie de recherche ayant mobilisé l'ergotoxicologie. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 21 numéro 3, Article Volume 21 numéro 3. <https://doi.org/10.4000/vertigo.33981>
- Guichard, L., Dedieu, F., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., Reau, R., & Savini, I. (2017). Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : Décryptage d'un échec et raisons d'espérer. *Cahiers Agricultures*, 26(1), Article 1. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017004>
- Gupta, A., Sinha, R., Koradia, D., Patel, R., Parmar, M., Rohit, P., Patel, H., Patel, K., Chand, V., James, T. J., Chandan, A., Patel, M., Prakash, T., & Vivekanandan, P. (2003). Mobilizing grassroots' technological innovations and traditional knowledge, values and institutions : Articulating social and ethical capital. *Futures*, 35, 975-987. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(03\)00053-3](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(03)00053-3)
- Hawkins, N. J., Bass, C., Dixon, A., & Neve, P. (2019). The evolutionary origins of pesticide resistance. *Biological Reviews*, 94(1), 135-155.
- Hill, S., & MacRae, R. (1996). Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture - J SUSTAINABLE AGR*, 7, 81-87. https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07
- IFVV. (2022). *Transition agroécologique en viticulture | Institut Français de la Vigne et du Vin*. <https://www.vignevin.com/environnement/agroecologie/>
- INAO. (2020). *Appellation d'origine protégée/contrôlée (AOP/AOC)*. INAO. <https://www.inao.gouv.fr/Les-signes-officiels-de-la-qualite-et-de-l-origine-SIQO/Appellation-d-origine-protgee-controlee-AOP-AOC>
- INOSYS. (2018). *UNE VITICULTURE SANS HERBICIDE: QUELS IMPACTS ECONOMIQUES SUR L'EXPLOITATION ?*
- Jacquet, F., Jeuffroy, M.-H., Jouan, J., Le Cadre, E., Litrico, I., Malausa, T., Reboud, X., & Huyghe, C. (2022). Pesticide-free agriculture as a new paradigm for research. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00742-8>
- Jas, N. (2014). 1. Gouverner les substances chimiques dangereuses dans les espaces internationaux. In *Le gouvernement des technosciences* (p. 31-63). La Découverte. <https://doi.org/10.3917/dec.pest.2014.01.0031>

- Klerkx, L., & Begemann, S. (2020). Supporting food systems transformation : The what, why, who, where and how of mission-oriented agricultural innovation systems. *Agricultural Systems*, 184, 102901. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102901>
- Kunova, A., Pizzatti, C., Saracchi, M., Pasquali, M., & Cortesi, P. (2021). Grapevine Powdery Mildew : Fungicides for Its Management and Advances in Molecular Detection of Markers Associated with Resistance. *Microorganisms*, 9(7), 1541. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071541>
- Lamanda, N., Roux, S., Delmotte, S., Mérot, A., Rapidel, B., Adam, M., & Wery, J. (2012). A protocol for the conceptualisation of an agro-ecosystem to guide data acquisition and analysis and expert knowledge integration. *European Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.07.004>
- Lamichhane, J. R., Dachbrodt-Saaydeh, S., Kudsk, P., & Messéan, A. (2016). Toward a Reduced Reliance on Conventional Pesticides in European Agriculture. *Plant Disease*, 100(1), 10-24. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-15-0574-FE>
- Läpple, D., Renwick, A., & Thorne, F. (2015). Measuring and understanding the drivers of agricultural innovation : Evidence from Ireland. *Food Policy*, 51(C), 1-8.
- Larousse, É. (2023). *Définitions : Pesticide - Dictionnaire de français Larousse*. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/pesticide/59905>
- Laurie, C. M.-C. M.-D., & Hela, R. C.-Y. (2016). *Enjeux et place du biocontrôle dans les différents systèmes de production des vignes*.
- Le Gal, D. P. (2011). *How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review* [Article de périodique]. CIRAD. https://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=561400
- Lefebvre, M., Langrell, S. R. H., & Gomez-y-Paloma, S. (2015). Incentives and policies for integrated pest management in Europe : A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1), 27-45. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0237-2>
- Lefèvre. (2019). *Méthodologie d'enquêtes pour études de trajectoires—Enquêtes qualitatives semi-directives*.
- Lesur-Dumoulin, C., Malézieux, E., Ben-Ari, T., Langlais, C., & Makowski, D. (2017). Lower average yields but similar yield variability in organic versus conventional horticulture. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5), 45. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0455-5>
- L'Index acta phytosanitaire 2023 et les outils numériques de la collection « Index acta ». (2022, novembre 3). *acta*. <https://www.acta.asso.fr/parution-de-lindex-acta-phytosanitaire-2023-et-des-declinaisons-numeriques/>
- Mailly, F., Hossard, L., Barbier, J.-M., Thiollot-Scholtus, M., & Gary, C. (2017). Quantifying the impact of crop protection practices on pesticide use in wine-growing systems. *European Journal of Agronomy*, 84, 23-34. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.12.005>
- Merot, A., Alonso Ugaglia, A., Barbier, J.-M., & Del'homme, B. (2019). Diversity of conversion strategies for organic vineyards. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(2), 16. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0560-8>
- Merot, A., Belhouchette, H., Saj, S., & Wéry, J. (2020). Implementing organic farming in vineyards. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44(2), 164. <https://doi.org/10.1080/21683565.2019.1631934>
- Merot, A., Fermaud, M., Gosme, M., & Smits, N. (2020). Effect of Conversion to Organic Farming on Pest and Disease Control in French Vineyards. *Agronomy*, 10(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071047>
- Merot, A., & Wery, J. (2017). Converting to organic viticulture increases cropping system structure and management complexity. *Agronomy for Sustainable Development*, 37. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0427-9>

- Meynard, J. M., Dedieu, B., & Bos, A. P. (2012). Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods in practices. *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*, 405-429. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_18
- Meynard, J.-M. (2017). L'agroécologie, un nouveau rapport aux savoirs et à l'innovation. *OCL*, 24(3), Article 3. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017021>
- Ministère de l'Agriculture. (2020). *Les grands chiffres du réseau DEPHY en 2020*.
- Ministère de l'Agriculture. (2012). *L'utilisation des pesticides en France : État des lieux et perspectives de réduction*. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/lutilisation-des-pesticides-en-france-etat-des-lieux-et-perspectives-de-reduction>
- Ministère de l'Agriculture. (2023). *Les fermes Dephy : Partout en France, des systèmes de production performants et économes en pesticides*. <https://agriculture.gouv.fr/les-fermes-dephy-partout-en-france-des-systemes-de-production-performants-et-economes-en-0>
- Ministère de l'écologie. (2022). *Publication des données provisoires des ventes de produits phytopharmaceutiques en 2021*. Ministères Écologie Énergie Territoires. <https://www.ecologie.gouv.fr/publication-des-donnees-provisoires-des-ventes-produits-phytopharmaceutiques>
- Momas et al. (2004). *Rapport de la Commission d'orientation du Plan national santé-environnement*. vie-publique.fr. <http://www.vie-publique.fr/rapport/27355-rapport-de-la-commission-dorientation-du-plan-national-sante-environnem>
- Panseri, S., Chiesa, L., Ghisleni, G., Marano, G., Boracchi, P., Ranghieri, V., Malandra, R. M., Roccabianca, P., & Tecilla, M. (2019). Persistent organic pollutants in fish : Biomonitoring and cocktail effect with implications for food safety. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(4), 601-611. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1579926>
- Pelosi, C., Bertrand, C., Daniele, G., Coeurdassier, M., Benoit, P., Néliu, S., Lafay, F., Bretagnolle, V., Gaba, S., Vulliet, E., & Fritsch, C. (2021). Residues of currently used pesticides in soils and earthworms : A silent threat? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 305, 107167. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107167>
- Pingault, N., Pleyber, E., Champeaux, C., Guichard, L., & Omon, B. (2009). Produits phytosanitaires et protection intégrée des cultures : L'indicateur de fréquence de traitement. *Notes et Études Socio-économiques*, 32, 61-94.
- Plateau, L., Roudart, L., Hudon, M., & Maréchal, K. (2021). Opening the organisational black box to grasp the difficulties of agroecological transition. An empirical analysis of tensions in agroecological production cooperatives. *Ecological Economics*, 185, 107048. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107048>
- Prost, L., Martin, G., Ballot, R., Benoit, M., Bergez, J.-E., Bockstaller, C., Cerf, M., Deytieux, V., Hossard, L., Jeuffroy, M.-H., Leclère, M., Le Bail, M., Le Gal, P.-Y., Loyce, C., Merot, A., Meynard, J.-M., Mignolet, C., Munier-Jolain, N., Novak, S., ... van der Werf, H. (2023). Key research challenges to supporting farm transitions to agroecology in advanced economies. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(1), 11. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00855-8>
- Salembier, C. (2019). *Stimuler la conception distribuée de systèmes agroécologiques par l'étude de pratiques innovantes d'agriculteurs*. Université Paris Saclay (COMUE).
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna : A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8-27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Sanginga, P., Waters-Bayer, A., Kaaria, S., Njuki, J., & Wettasinha, C. (2009). *Innovation Africa : Enriching farmers' livelihoods*.
- Sattler, C., Schrader, J., Flor, R. J., Keo, M., Chhun, S., Choun, S., Hadi, B. A. R., & Settele, J. (2021). Reducing Pesticides and Increasing Crop Diversification Offer Ecological and Economic Benefits for Farmers—A Case Study in Cambodian Rice Fields. *Insects*, 12(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/insects12030267>

- Savary, S., Delbac, L., Rochas, A., Taisant, G., & Willocquet, L. (2009). Analysis of nonlinear relationships in dual epidemics, and its application to the management of grapevine downy and powdery mildews. *Phytopathology*, 99(8), 930-942. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-99-8-0930>
- Temple, L., Chiffolleau, Y., & Touzard, J.-M. (2020). Chapitre 1—Une histoire de l'innovation et de ses usages dans l'agriculture. In G. Faure & F. Goulet (Éds.), *Innovation et développement dans les systèmes agricoles et alimentaires* (p. 17-37). Éditions Quæ. <http://books.openedition.org/quae/25286>
- Vanloqueren, G., & Baret, P. V. (2009). How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research Policy*, 38(6), 971-983. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.02.008>
- Vourc'h, G., Brun, J., Ducrot, C., Cosson, J.-F., Le Masson, P., & Weil, B. (2018). Using design theory to foster innovative cross-disciplinary research : Lessons learned from a research network focused on antimicrobial use and animal microbes' resistance to antimicrobials. *Veterinary and Animal Science*, 6, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2018.04.001>
- Wu, J., & David, J. L. (2002). A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems : Theory and applications. *Ecological Modelling*, 153(1), 7-26. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00499-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00499-9)
- Zahm et Al. (2016). *Proposition d'une démarche intégrative de confrontation entre valeurs d'indicateurs pesticides, valeurs estimées par la modélisation agro-hydrologique et descripteurs écotoxicologiques dans un processus de validation d'indicateurs. Application à l'IFT Substance Active potentiel de transfert.*
- Zakić, N., Vukotić, S., & Cvijanović, D. (2014). ORGANISATIONAL MODELS IN AGRICULTURE WITH SPECIAL REFERENCE TO SMALL FARMERS. *Економика пољопривреде*, LXI(1), Article 1.

Annexes

ANNEXE I : Guide d'entretien des exploitations

Présentation générale de l'exploitation (EA)

1/ Présentation générale

- Contexte général : SAU, statut EA, date insta, certification, main d'œuvre, climat... + parcours du viti
- Autres activités ?
- Quel est le poids économique de la vigne dans l'EA ? (+ combien d'UTH, main d'œuvre sur la vigne ?)
- Motivations pour arrêter les phytos, valeurs

2/ Commercialisation

Coop / cave particulière ? Evolution ? (Circuits, quantité, vrac/bouteille, gamme de prix)

3/ Parcelle

Représentation du parcellaire

- Cépage, densité, écartement
- Type de sol, pentes
- Eloignement
- Difficulté à travailler cette parcelle
- Priorisation d'îlots ?
- Appellation/certification
- Pression sanitaire
- Rendements et objectifs + régularité

Itinéraire techniques et pratiques en place **Frise ITK 2021**

- Retracer les pratiques : fertilisation, taille, ébourgeonnage, rognage, effeuillage, tressage, vendanges en vert, vendanges, ... Ordre entre les parcelles ?
- Traitements : insecticides ? biodynamie ? PNPP ? Méthodes de pulvérisation (+nb de rangs) ? Différence de traitements entre parcelles ?
- Qu'est-ce qui va déclencher la mise en place d'une pratique donnée (traitements, ...) ?
- Suivi sanitaire : BSV ? Observation ? OAD ?
- Méthodes prophylactiques ? Calendrier lunaire ? Animaux ? Agroforesterie ?
- Gestion de l'enherbement du rang et de l'IR.
- Récap matériel : âge/état, critères de choix, ... → Autonomie ? Pratiques sous-traitées/CUMA/associations ?

Identification des changements et performances **FRISE GLOBALE EA**

1/ Evolution des pratiques (ITK, IFT) : vous avez toujours fait comme ça ? → **évolutions de l'ITK**
Evolution des rdmt ? Conso Cuivre ? Soufre ?

2/ Evolution des moteurs du changement et de l'organisation de l'EA → **évolutions orga**

Evolution de l'orga structurelle de l'EA : arrachage parcelle, reprises, etc.

- Motivations & sources d'apprentissage (groupe de travail, réseaux, date formation, ressources d'information, accompagnement et suivi conseiller, ...) + contraintes confrontées => évolution ?
- Essai erreur ? Parcelle test ?
- Acceptation du risque ? Quelle perte de rendement max en % ? Innovations à tester dans le futur ?

3/ Evolution éco et sociale → **évolutions socio-éco**

- Facteurs principaux de la perte de rendement ?
- Êtes-vous satisfait de la façon dont vous travaillez et votre rémunération ? est-ce que cela a toujours été le cas ? (Part d'aides PAC dans le revenu ?)
- Est-ce que ces changements ont engendré une complexité et un temps de gestion accru ? Pic de travail ?
- Evolution de votre temps de travail, nb de jour de congés, évaluation de la pénibilité du travail

Autoévaluation & perspectives

- D'après vous, quels ont été les changements majeurs dans votre EA au cours des 10 dernières années ?
- Quelles sont selon vous les principales conditions de réussite ?
- Identifiez-vous des limites en termes de transférabilité de votre stratégie bas intrants à d'autres viticulteur-ice-s ?
- Et si c'était à refaire aujourd'hui, comment procéderiez-vous ? Dans quels domaines aimeriez-vous encore progresser ?

+ contact d'autres viti ?

Figure 12 : Capture d'écran du guide d'entretien.

ANNEXE II : La méthode HPD

La théorie des dynamiques hiérarchiques de patches (HPD) a été développée en écologie du paysage (Wu & David, 2002) comme moyen de décomposer la complexité spatiale et temporelle. Elle décrit les liens entre, les interventions, les règles de décisions et les échelles dans un système à travers une organisation hiérarchique verticale de patches. La théorie HPD permet d'aborder les systèmes agricoles complexes, de caractériser l'hétérogénéité spatiale des composantes du système agricole, identifier les interactions et les rétroactions spatiales et temporelles des différentes composantes du système et de décrire les processus biophysiques et techniques des échelles du champ à la ferme (Merot & Wery, 2017).

La première étape consiste à détailler sur un tableau les modalités des variables décisives par parcelle au sein de l'exploitation. Une variable décisive étant définie comme entraînant une différence de pratiques entre les parcelles de l'exploitation. Par exemple, la sensibilité mildiou entraînera un traitement plus précoce ou plus important. Les modalités pourront être 2 : forte, 1 : moyenne et 0 : faible, pour des variétés résistantes. Ce tableau est réalisé pour chaque année de changement de pratique ou d'entrée en production/arrachage de parcelle. Une analyse de composante multiple (ACM) détaille ensuite les contributions de chaque variable aux 3 premiers axes ainsi que les coordonnées de chaque parcelle, permettant de construire l'organigramme ci-dessous :

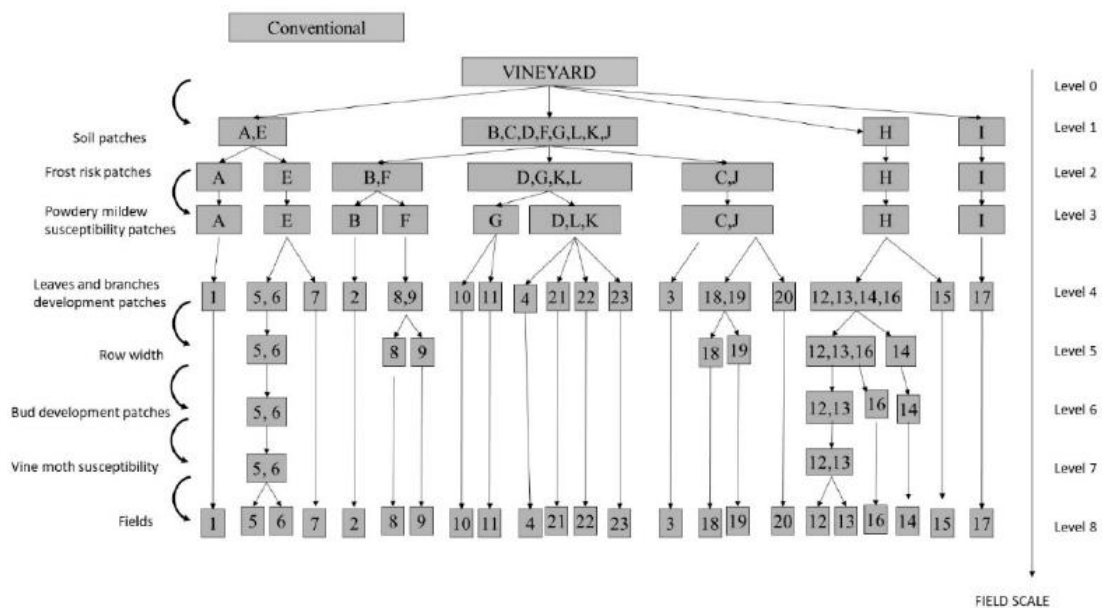


Figure 13 : Schéma HPD d'une exploitation agricole : les lettres correspondent aux parcelles, les noms à droite sont des variables décisionnelles, les intersections correspondent à une différence de modalité de la variable.

- Les contributions des variables sur le premier axe permettent de déterminer un ordre hiérarchique entre les variables. La somme variable entraînant une division dans l'organigramme correspond aux nombres de d'indicateur de gestion nMI
- Les nombre de groupe aux coordonnées de parcelle différentes apportent le nombre d'itinéraire techniques : nTMS. Deux séquences sont considérées comme distinctes si elles diffèrent sur au moins une opération technique.

ANNEXE III : Tableau de calcul de la quantité de cuivre métal moyen par point d'IFT.

Tableau 6 : Feuille de calcul de de la quantité de CU métal moyen par dose homologuée à partir des composition des produits cuivrés autorisées en 2018.

Produits cuivrés autorisées en AB				
Noms commerciaux	Substances actives	Pourcentages Cu	Doses homoluées (kg ou L/ha)	Quantité de Cu par dose homologuée
NORDOX 75 WG	oxyde cuivreux	75%	2,00	1,50
NORDOX VITIS	oxyde cuivreux	45%	1,60	0,72
CHAMP FLO AMPLI	hydroxyde de cuivre	36%	2,00	0,72
BLUE SHIELD HIBIO	hydroxyde de cuivre	22%	3,40	0,75
BB RSR DISPERS NC	sulfate de cuivre	20%	3,60	0,72
Cuivre 53W	sulfate de cuivre	21%	3,00	0,63
CUPERVAL	sulfate de cuivre	20%	25,00	5,00
COPPER SPRAY	oxychlorure de cuivre	30%	3,00	0,90
HELIOCUIVRE	hydroxyde de cuivre	40%	3,00	1,20
HELIOTERPEN CUIVRE	hydroxyde de cuivre	40%	3,00	1,20
PARASOL WG	hydroxyde de cuivre	33%	6,70	2,18
CUPROXAT SC	sulfate de cuivre	19%	3,90	0,74
BB MACCLESFIELD 80	sulfate de cuivre	20%	15,00	3,00
KOCIDE 3D	hydroxyde de cuivre	35%	3,00	1,05
KOCIDE 2000	hydroxyde de cuivre	35%	3,00	1,05
MOYENNE		33%	5,41	1,42

ANNEXE IV : Tableau récapitulatif d'un exemple de calcul de l'indicateur W
exemple de calcul de l'indicateur temps de travail Wt.

Tableau 7 : Feuille de calcul de la variable du temps de travail W.

Type d'intervention	Durée (h/ha)	2016		2017	
		Nb	ha concernés	Nb	ha concernés
Taille manuelle	50	1	7,75	1	7,75
Tirage sarments	40	1	7,75	1	7,75
Labour	0,4	0	7,75	1	1
Traitement	0,33	4	7,75	4	7,75
Epamprage	0,8	1	7,75	1	7,75
Ebourgeonnage	0,8	1	2	1	2
Palissage	36	1	3,5	1	3,5
Ecimage/rognage manuel	2,5	1	7,75	1	7,75
Ecimage/rognage mécanique	0,8	0	7,75	0	7,75
Broyage	1,2	2	7,75	2	7,75
Cavaillonnage/décavaillonnage	1,75	0	7,75	0	7,75
Arrachage	112	0	7,75	0	7,75
Semis	0,5	0	7,75	1	1
Fauche	0,33	0	7,75	0	7,75
Irrigation	0,2	0	7,75	0	7,75
Paturage	0,1	0	7,75	0	7,75
Vendanges	63	1	7,75	1	7,75
		Total		Total	
		Nb heure		Nb heure	
		1367,755		1368,655	

Nom et Prénom de l'auteur : **Etchepare Teo**

Titre du mémoire : **Des systèmes viticoles sans pesticides – Analyse de leur complexité**

Ecole d'inscription : **ACO**

Lieu du stage : UMR ABSys – INRAE Montpellier, 2 place Pierre Viala, 34000 Montpellier

RESUME

La viticulture est un secteur très consommateur de produits phytosanitaires. Des changements dans les systèmes de cultures sont nécessaires pour de réduire leurs usages, et ainsi limiter leurs impacts néfastes sur la santé et l'environnement. Lors de ce stage, nous nous sommes intéressés aux domaines viticoles très peu consommateurs de pesticides existants en France. Des enquêtes semi-directives et des analyses basées sur des indicateurs nous ont permis d'étudier la complexité de leurs systèmes de cultures actuelles et passés. Nous avons mis en évidence que la complexité évolue dans le temps et qu'une très forte réduction d'usage des pesticides entraîne une complexification des systèmes viticoles. De plus, des leviers de compensation par simplification ou réduction des systèmes ont été perçus. Nos résultats confirment ainsi les conclusions émises dans le cadre d'étude de transition viticoles vers l'agriculture biologique. Cette étude montre l'outil essentiel que peut être le diagnostic de complexité pour le conseil agricole dans le cadre de volontés fortes de diminution d'usage de pesticides.

Les enquêtes se sont concentrées sur des exploitations dont l'utilisation de phytosanitaires était initialement inférieure à la moyenne régionale, ce qui laisse penser que des leviers n'ont pu être perçus.

Mots-clés : viticulture – pesticides – système de culture – complexification – agroécologie

ABSTRACT

Winegrowing is a sector that consumes large quantities of phytosanitary products. Changes in cropping systems are needed to reduce their use, and thus, limit their harmful impact on health and the environment. During this internship, we focused on winegrowing estates in France that use very low rate of pesticides. Semi-directive surveys and indicator-based analyses enabled us to study the complexity of their current and past cropping systems. We have shown that system complexity evolve over time and that a sharp reduction in pesticide use leads to an increase in the complexity of winegrowing systems. In addition, we have identified ways of compensating for this by simplifying or reducing systems. Our results thus confirm the conclusions drawn in the context of viticultural transition studies towards organic farming. This study shows that complexity diagnosis can be an essential tool for agricultural consultancy in the context of a strong desire to reduce pesticide use.

The surveys focused on farms whose phytosanitary use was initially lower than the regional average, suggesting that levers may not have been perceived.

Key words: viticulture - pesticides - cropping system - complexification - agroecology