



**HAL**  
open science

# Compétitivité des entreprises et dépérissement du vignoble

Marie Yvette Elisée Konan

► **To cite this version:**

Marie Yvette Elisée Konan. Compétitivité des entreprises et dépérissement du vignoble. Economies et finances. Université de Bordeaux, 2023. Français. NNT : 2023BORD0182 . tel-04207038

**HAL Id: tel-04207038**

**<https://theses.hal.science/tel-04207038>**

Submitted on 14 Sep 2023

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

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

THÈSE PRÉSENTÉE  
POUR OBTENIR LE GRADE DE  
**DOCTEUR**  
**DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX**  
ÉCOLE DOCTORALE ENTREPRISE, ÉCONOMIE, SOCIÉTÉ  
BORDEAUX SCHOOL OF ECONOMICS (BSE)

Par Marie Yvette Elisée **KONAN**

**Compétitivité des entreprises et dépérissement du  
vignoble**

Sous la direction de : **Jean-Marie CARDEBAT**  
Co-directrice : **Adeline ALONSO UGAGLIA**

Soutenue le 10 juillet 2023

Membres du jury :

<b>M. Jean-Marc FIGUET</b>	Professeur	Université de Bordeaux	Président
<b>M. Jonathan KAPLAN</b>	Professeur	Université de Sacramento	Rapporteur
<b>M. Raúl COMPES LOPEZ</b>	Professeur	Université Polytechnique de Valence	Rapporteur
<b>M. Davide Nicola Vincenzo GAETA</b>	Professeur associé	Université de Vérone	Examineur
<b>M. Jean-Marie CARDEBAT</b>	Professeur	Université de Bordeaux	Directeur
<b>Mme. Adeline ALONSO UGAGLIA</b>	Maître de conférences	Bordeaux Sciences Agro	Co-directrice

---

## Déclaration

L'Université de Bordeaux, Bordeaux School of Economics (BSE), l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) et l'UMR Santé et Agroécologie du vignoble (SAVE) n'entendent donner aucune approbation ou improbation aux opinions émises dans cette thèse. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

---

## Financements

Cette thèse a été cofinancée par le projet DECIDEP (Aide à la DECision et DEPérissement du vignoble : analyse technico-économique de l'impact des pratiques culturales pour faire face au dépérissement) financé par le Ministère chargé de l'agriculture via le CASDAR et FranceAgriMer, et par le Comité National des Interprofessions des Vins à appellation d'origine et à indication géographique (CNIV) dans le cadre du Plan National du Dépérissement du Vignoble (PNDV) d'une part, et par le projet COMPET (Compétitivité et dépérissement du vignoble) financé par la Région Nouvelle-Aquitaine d'autre part.

---

## Remerciements

Mes remerciements vont à l'égard de tous les acteurs qui ont œuvré de près ou de loin pour la réalisation de ce projet de thèse.

Avant toute chose, j'aimerais remercier les Professeurs Jonathan KAPLAN et Raúl COMPES LOPEZ d'avoir accepté d'être les rapporteurs de la thèse. Je remercie également les Professeurs Davide Nicola Vincenzo GAETA et Jean-Marc FIGUET d'avoir accepté d'être les examinateurs lors de cette soutenance de thèse.

Mes plus grands et profonds remerciements vont à l'égard de ma directrice de thèse Adeline ALONSO UGAGLIA et de mon directeur Jean-Marie CARDEBAT qui, par leur pédagogie, leurs conseils avisés et leur confiance, m'ont permis d'arriver au bout de ce projet. Merci à vous pour ce partage d'expérience et de connaissances.

Je remercie également les membres de mon comité de thèse, le Professeur Jean-Marc FIGUET, le Professeur Eric GIRAUD-HERAUD et le Professeur Jonathan KAPLAN qui ont évalué ce travail de thèse tout au long de son processus de réalisation.

A special thanks to Professor Jonathan KAPLAN for his great availability and for his exceptional supervision during my stay at the University of California, Davis. Thanks also to Professor Julian ALSTON for his welcome at UC Davis' Department of Agricultural and Resource Economics and for the fruitful discussions.

Je remercie mon unité de recherche l'UMR Santé et Agroécologie du vignoble (SAVE) pour son accueil. Un grand merci au pôle de gestion de l'unité pour toutes les démarches administratives. Je remercie grandement tous les doctorants et personnels de l'UMR SAVE pour toutes les discussions très fructueuses. Je remercie aussi le comité de direction qui a appuyé la prolongation de mon contrat en participant à son financement.

Je remercie particulièrement mon équipe d'accueil au sein de l'UMR, c'est-à-dire le Groupe Dépérissement, pour tout ce temps passé à vos côtés. Merci pour cette initiation dans cet environnement qui était très éloigné de mon domaine d'expertise au départ. J'ai beaucoup appris auprès de vous à travers nos réunions mensuelles et à toutes les occasions que vous m'avez données de vous présenter mes travaux. Un merci spécial à ma responsable d'équipe Chloé DELMAS pour son soutien et pour l'appui de ma demande de financement.

Un grand merci également aux chercheurs Pascal LECOMTE, Lucia GUERIN-DUBRANA (UMR SAVE) et à Céline CHOLET de l'Institut des Sciences de la Vigne et du Vin (ISVV) d'avoir mis à ma disposition les données épidémiologiques et agronomiques pour la construction du modèle bioéconomique du chapitre 3 de la thèse.

Je remercie également mon collègue et ami le Docteur Hola Kwame ADRAKEY pour son aide précieuse. Sans oublier sa merveilleuse femme Afi Etonam ADETOU, merci pour ton aide au travers de la réalisation de ce stage sur le chapitre 4 de la thèse. Merci à tous les deux pour votre soutien.

Je remercie profondément toute ma famille sans qui je n'aurais pas pu écrire une seule ligne de cette thèse. Merci à vous, Papa Siméon KONAN et Maman Thérèse KONAN pour votre soutien sans faille. Malgré cette grande distance qui nous sépare, vous n'avez cessé d'être là, à chaque fois quand j'ai eu besoin. Merci d'avoir su trouver les mots quand je n'avais plus de force. Merci pour la force que vous m'avez donnée et qui m'a permis de tenir bon jusqu'à la fin de cette thèse. Et surtout merci pour vos prières continuelles et incessantes. Sachez que je vous aime de tout mon cœur.

Enfin, comment terminer ces remerciements sans celui-là même qui est le socle de ma vie, je remercie le Dieu tout-puissant, en qui je crois, pour la vie et la santé sans lesquelles je n'aurais rien pu faire. Merci de m'avoir permis de rencontrer toutes ces belles personnes tout au long de cette magnifique expérience que représente la rédaction d'une thèse.

---

## Résumé

### Compétitivité des entreprises et dépérissement du vignoble

**Résumé :** Depuis plusieurs années, on observe le dépérissement du vignoble, c'est-à-dire l'érosion des rendements et une augmentation très importante de la mortalité des vignes, qui fragilise la productivité de la filière viti-vinicole en France. Dans un contexte économique plutôt difficile, ces manques à produire impactent directement le profit des entreprises de la filière et leur positionnement sur le marché du vin. Nous analysons l'impact de ce dépérissement sur la compétitivité des entreprises viticoles à travers trois sous-questions. Tout d'abord, nous analysons l'impact des baisses de rendement induites par le dépérissement de la vigne sur la formation du prix du vin dans la région de Bordeaux. Les résultats révèlent qu'une baisse en volume de la récolte de raisin induit une hausse du prix du vin avec une élasticité estimée à 0,201%. On note que les vins d'entrée de gamme sont plus élastiques à la variation de la récolte que les vins haut de gamme dont l'élasticité n'est pas significative sur notre échantillon. Ces résultats soulignent d'une part que les pertes de rendement constituent une perte de compétitivité-prix pour les entreprises viticoles françaises et, d'autre part, que les politiques mises en place pour minimiser ces pertes pourraient induire une baisse du prix du vin à terme. Le dépérissement est un phénomène multifactoriel qui nécessite une adaptation de la part des viticulteurs pour préserver leur productivité. Nous analysons donc ensuite l'impact économique des pratiques mises en place pour lutter contre le dépérissement, dans le cas particulier des méthodes curatives pour lutter contre l'un des facteurs majeurs du dépérissement, une maladie du bois de la vigne, l'Esca. Une première partie présente l'impact économique de l'adoption du curetage et de la complantation sur une parcelle atteinte d'Esca grâce à un modèle de simulation bioéconomique. Les résultats obtenus ont montré que la mise en œuvre de ces pratiques est rentable pour les viticulteurs, et ce d'autant plus que la sévérité de l'Esca est élevée et que l'efficacité de la pratique est bonne. Leur adoption permettrait donc de maintenir voire d'accroître la compétitivité-coût. Cependant, le manque d'adoption de ces pratiques sur le terrain pourrait être expliqué par d'autres facteurs tels que l'incertitude et l'attitude face des viticulteurs.

Dans une seconde partie, nous analysons donc l'impact du comportement des viticulteurs face au risque en situation d'incertitude sur leur prise de décision. Les résultats indiquent que, quel que soit le comportement d'un viticulteur, la décision d'adopter une pratique curative est, en général, plus rentable que la décision de ne mettre en place aucune pratique de lutte contre l'Esca. Cependant, selon le comportement face au risque du viticulteur, la meilleure décision peut varier. C'est un facteur important à prendre en compte pour l'adaptation des viticulteurs. La méconnaissance des effets et des causes socio-économiques et techniques du dépérissement peut également constituer un frein à l'adaptation des viticulteurs. Nous analysons donc enfin les facteurs socio-économiques et techniques du dépérissement. Les résultats obtenus sur les bases de données existantes montrent qu'il existe bien un lien entre le contexte socio-économique et technique des entreprises viticoles et le statut dépérissant ou non de leur exploitation. Les facteurs socio-économiques et technique tels que le rendement et la longévité de l'exploitation, le taux de marge, le stock de vin, le niveau d'engagement environnemental, l'adhésion à une cave coopérative et les pratiques culturelles peuvent être discriminants. Leur bonne gestion permettrait une meilleure perception du dépérissement et une adaptation qui permettrait de préserver voire d'améliorer la compétitivité des exploitations viticoles françaises.

**Mots-clés :** Dépérissement du vignoble, Compétitivité, Rendement, Modèle de simulation bio-économique, Elasticités-prix, Prise de décision

---

### **Company competitiveness and vineyard dieback**

**Abstract :** For several years now, we have been observing the dieback of the vine, i.e. a very significant increase in the mortality of vines and the erosion of yields, which lowers the productivity of the French vineyard. In a rather difficult economic context, these production shortfalls have a direct impact on the profitability of the companies in the wine industry and their positioning on the wine market. We analyse the impact of this dieback on the competitiveness of wine companies, through three sub-questions. Firstly, we analyse the impact of yield reductions induced by vine dieback on wine price formation in the Bordeaux region. The results reveal that a decrease in the volume of the grape harvest induces an increase in the price of wine with an estimated elasticity of 0.201%. We note that entry-level wines are more elastic to the variation in the harvest than high-end wines whose elasticity is not significant in our sample. These results underline, on the one hand, that yield losses constitute a loss of price competitiveness for French wine companies and, on the other hand, that the policies put in

place to minimise these losses could lead to a fall in the price of wine in the long term. Dieback is a multifactorial phenomenon that requires adaptation on the part of winegrowers to preserve their productivity. We then analyse the economic impact of the practices implemented to combat dieback, in the particular case of curative methods to combat one of the major factors of dieback that is involved in grapevine wood diseases, Esca. The first part presents the economic impact of adopting curettage and replantation on a plot affected by Esca using a bioeconomic simulation model. The results obtained showed that the implementation of these practices is profitable for winegrowers, especially when the severity of Esca is high and the efficiency of the practice is good. Their adoption would therefore maintain or even increase their cost-competitiveness. However, the lack of adoption of these practices in the field despite these results suggests that other factors such as uncertainty and attitude towards risk may discourage winegrowers. In the second part, we therefore analyse the impact of the winegrowers' attitude to risk and uncertainty on their decision making. The results indicate that, whatever the winegrower's behaviour, the decision to adopt a curative practice is, in general, more profitable than the decision not to implement any Esca control practice. However, the best decision may vary depending on the risk behaviour of the winegrower. This is an important factor to take into account in winegrower adaptation. The lack of knowledge of the effects and socio-economic and technical drivers of dieback can also be a hindrance to the adaptation of winegrowers. Finally, we analyse the socio-economic and technical factors of vine dieback. The results obtained from the existing databases show that there is a link between the socio-economic and technical context of the vineyard companies and the dieback status of their farms. Socio-economic and technical factors such as yield and longevity of the farm, margin rate, wine stock, level of environmental commitment, membership of a cooperative winery and cultivation practices can be discriminating. Proper management of these factors would allow for a better perception of dieback and a good adaptation that would help preserve or improve the competitiveness of French vineyards.

**Keywords :** Vineyard dieback, Competitiveness, Yield, Bioeconomic simulation model, Price elasticities, Decision-making

---

**Bordeaux School of Economics (BSE), University of Bordeaux, 6 Av. Léon Duguit, 33600 Pessac, France.**

**UMR INRAE 1065 Santé et Agroécologie du Vignoble (SAVE), 33140 Villenave-d'Ornon.**

---

---

# Table des matières

Déclaration	i
Financements	ii
Remerciements	iii
Résumé	v
Abréviations	xx
<b>1 Introduction générale</b>	<b>1</b>
1.1 La filière viti-vinicole : importance économique . . . . .	2
1.1.1 Une compétitivité de plus en plus accrue . . . . .	2
1.1.2 Un secteur d'investissement : diversification de portefeuille . . . . .	4
1.2 Dépérissement dans le secteur agricole : un phénomène multifactoriel . . . . .	5
1.2.1 Dépérissement des forêts . . . . .	6
1.2.2 Dépérissement des vignes . . . . .	8
1.3 La filière viti-vinicole française : une vulnérabilité plus accrue au dépérissement .	13
1.3.1 Le dépérissement dans le vignoble français . . . . .	13
1.3.2 La compétitivité des entreprises viti-vinicoles françaises impactée par le dépérissement . . . . .	15
1.4 Contexte institutionnel de la thèse . . . . .	18
1.5 Problématique et annonce du plan . . . . .	21

---

<b>2</b>	<b>Impact des baisses de rendement sur la formation des prix du vin</b>	<b>26</b>
	Introduction du chapitre . . . . .	26
	Impact of grape yields decline on wine price formation . . . . .	29
2.1	Introduction . . . . .	30
2.2	Data and stylized facts . . . . .	33
2.3	Methodology . . . . .	37
2.3.1	Theoretical model : Equilibrium displacement model . . . . .	37
2.3.2	Empirical model . . . . .	40
2.3.3	Econometric estimation : Fixed effects model . . . . .	42
2.4	Results . . . . .	43
2.4.1	Benchmark model . . . . .	43
2.4.2	Robustness : Local projection analysis . . . . .	45
2.5	Heterogeneity . . . . .	47
2.5.1	Analysis by Wine Ranges . . . . .	47
2.5.2	Analysis by Price Range . . . . .	48
2.6	Conclusion . . . . .	52
	Conclusion du chapitre . . . . .	57
<b>3</b>	<b>Impact économique des pratiques curatives et modélisation de la décision</b>	<b>58</b>
	Introduction du chapitre . . . . .	58
	Economic impact of curative practices on a declining vine plot . . . . .	64
3.1	Introduction . . . . .	65
3.2	Materials and methods . . . . .	67
3.2.1	Biological model . . . . .	67
3.2.2	Modelling the impact of curettage . . . . .	69
3.3	Economic model . . . . .	73
3.3.1	Simple model for fixed costs and prices . . . . .	73
3.3.2	Monte Carlo simulations . . . . .	75
3.4	Results . . . . .	76
3.4.1	Simple model (fixed costs and prices) . . . . .	76

3.4.2	Impact of curettage and complantation practices on annual and cumulative net profits . . . . .	79
3.5	Monte Carlo simulations on costs and prices . . . . .	86
3.5.1	Impact of cost and price variations on net profits for curettage . . . . .	86
3.5.2	Impact of cost and price variations on cumulative net profits for complantation . . . . .	87
3.5.3	Comparison of curettage and complantation . . . . .	89
3.6	Discussion . . . . .	91
3.7	Conclusion . . . . .	94
	Annexes . . . . .	95
	Decision-making under yield risk and disease uncertainty : the case of adopting curative practices against Esca . . . . .	98
3.8	Introduction . . . . .	99
3.9	Decision theory, choice criteria, and risk preference . . . . .	102
3.10	Epidemiological-economic model . . . . .	105
3.10.1	Model design . . . . .	105
3.11	Methodology . . . . .	107
3.11.1	Monte Carlo simulation . . . . .	108
3.11.2	The Decision of the risk-neutral winegrape grower . . . . .	109
3.11.3	The Decision of the risk-seeking winegrape grower . . . . .	109
3.11.4	The Decision of the risk-averse winegrape grower . . . . .	110
3.12	Results and discussion . . . . .	111
3.12.1	Profit across scenarios . . . . .	111
3.12.2	Risk neutral adoption decision . . . . .	114
3.12.3	Risk-seeking adoption decision . . . . .	115
3.12.4	Risk averse adoption decision . . . . .	116
3.13	Discussion and conclusion . . . . .	118
	Annexes . . . . .	122
	Conclusion du chapitre . . . . .	125

---

<b>4</b>	<b>Analyse des facteurs socio-économiques et socio-techniques du dépérissement</b>	<b>128</b>
4.1	Introduction . . . . .	129
4.2	Revue de la littérature . . . . .	133
4.2.1	Les facteurs socio-économiques et socio-techniques des exploitations viticoles française . . . . .	133
4.2.2	Analyse socio-économique et socio-technique : une analyse multivariée . . . . .	138
4.3	Données et statistiques descriptives . . . . .	141
4.3.1	Base de données du BIPE . . . . .	141
4.3.2	Base de données du CNIV . . . . .	145
4.4	Méthodologie . . . . .	152
4.4.1	Analyse des correspondances multiples (ACM) . . . . .	152
4.4.2	Modèle logit ordonné . . . . .	153
4.4.3	Modèles d'arbres de décisions . . . . .	156
4.5	Résultats . . . . .	159
4.5.1	Analyse des correspondances multiples (ACM) . . . . .	159
4.5.2	Modèle logit Ordonné . . . . .	171
4.5.3	Modèle d'arbre de décision : Arbre de classification . . . . .	184
4.6	Discussion des résultats . . . . .	194
4.6.1	Les facteurs socio-économiques et socio-techniques identifiés . . . . .	195
4.6.2	Importance de l'imputation des données sur les résultats . . . . .	201
4.6.3	Limites de l'étude . . . . .	201
4.6.4	Perspectives . . . . .	202
4.7	Conclusion . . . . .	202
<b>5</b>	<b>Conclusion générale</b>	<b>204</b>
	<b>Références</b>	<b>213</b>
<b>A</b>	<b>Annexes Chapitre 4</b>	<b>243</b>
A.1	Questionnaire réduit . . . . .	245
A.1.1	Dictionnaire des variables . . . . .	248

---

A.1.2	Nombre de valeurs manquantes par question . . . . .	248
A.2	Statistiques Descriptives de la base enquête CNIV . . . . .	249
A.3	Annexe : Analyse des correspondances multiples . . . . .	251
	Annexe 4 : Analyse des correspondances multiples . . . . .	251
	A.3.1 Analyse des Correspondances multiples sans les variables de pratiques . .	251
	A.3.2 Analyse des Correspondances multiples avec les variables de pratiques . .	255
A.4	Annexe : Régression logistique ordonnée (Base enquête CNIV sans imputations)	259
	Annexe 5 : Régression logistique ordonnée (Base enquête CNIV sans imputations)	259
A.5	Méthode de calcul de l'indicateur du dépérissement . . . . .	261
	Méthode de calcul de l'indicateur du dépérissement . . . . .	261

---

---

## Table des figures

1.1	Facteurs de dépérissement du vignoble . . . . .	9
1.2	Les 4 ambitions du Plan Dépérissement . . . . .	19
1.3	Schéma des actions et de leurs interactions au sein du projet DECIDEP . . . . .	20
2.1	Evolution of the wine prices (a) and harvest (b) by appellation . . . . .	34
2.2	(a) Simultaneous evolution of wine prices and grape harvest. . . . .	36
2.3	Local projection of harvest effect on wine price (LSDV model) . . . . .	46
2.4	Representation of the wine market. . . . .	55
3.1	Evolution of annual yield (hl/ha) for curettage scenario by regions and disease severity level. . . . .	77
3.2	Evolution of cumulative yield (hl/ha) for curettage scenario by regions and disease severity level . . . . .	78
3.3	Evolution of annual yield for complantation by region depending on Esca severity (hL/ha). . . . .	80
3.4	Evolution of annual net profits for curettage by region depending on Esca severity (€/ha) . . . . .	82
3.5	Cumulative net profits for curettage by region depending on Esca severity (€/ha)	83
3.6	Evolution of annual net profits for complantation by region depending on Esca severity (€/ha) . . . . .	84
3.7	Cumulative net profits for complantation by region depending on Esca severity (€/ha) . . . . .	85
3.8	Monte Carlo simulation of annual net profits for curettage by region depending on Esca severity (€/ha) . . . . .	88

3.9	Monte Carlo simulation of cumulative net profits (NPV) for curettage by region depending on Esca severity (€/ha) . . . . .	88
3.10	Monte Carlo simulation of annual net profits for complantation by region depending on Esca severity (€/ha) . . . . .	89
3.11	Monte Carlo simulation of cumulative net profits (NPV) for complantation by region depending on Esca severity (€/ha) . . . . .	91
3.12	Respectively from right to left, Esca/BDA symptoms on white grape varieties(a), desiccation on red grape varieties (b) and symptoms on red grape varieties (c). .	122
4.1	Nombre de valeurs manquantes (NA) par (a) question et (b) questionnaire (c) Proportions de valeurs manquantes par catégorie . . . . .	143
4.2	Histogrammes selon les réponses des exploitants . . . . .	145
4.3	Nombre de valeurs manquantes (NA) par (a) question et (b) questionnaire. . . .	148
4.4	Histogrammes selon les réponses des exploitants . . . . .	150
4.5	Histogrammes des composantes principales et des pourcentages de variances expliqués . . . . .	160
4.6	Représentation graphique de l'ACM. . . . .	162
4.7	Représentation graphique de l'ACM sans les individus . . . . .	163
4.8	Histogrammes des composantes principales et des pourcentages de variances expliqués . . . . .	166
4.9	Représentation graphique de l'ACM . . . . .	167
4.10	Représentation graphique de l'ACM sans les individus. . . . .	168
4.11	Représentation CART : classe dépérissement . . . . .	186
4.12	Représentation CART : la variable réponse classe longévité . . . . .	188
4.13	Représentation CART : Classe longévité . . . . .	189
4.14	Variables importantes pour la classe de dépérissement . . . . .	191
4.15	Variables importantes pour la classe rendement . . . . .	192
4.16	Variables importantes pour la classe longévité . . . . .	193
A.1	Questionnaire réduit . . . . .	247
A.2	Histogrammes selon les réponses des exploitants. . . . .	249

---

A.3 Histogrammes selon les réponses des exploitants. . . . . 250

---

---

## Liste des tableaux

2.1	Effect of the harvest on wine prices (LSDV)	45
2.2	Local projection of harvest effect on wine prices (LSDV)	47
2.3	Analysis with variable integration dummies PDO *Log Harvest	49
2.4	Summary of statistics per PDO of price clustering (k-means)	50
2.5	Analysis with variable integration dummies price * Log Harvest	51
2.6	Definition and sources of the variables	54
2.7	Descriptive statistics	54
2.8	Correlation matrix	55
2.9	Summary for variables wine price by categories of wine range	55
3.1	Epidemiological values selected for the simulation model	68
3.2	Equations used for the evolution of curretted vines according to efficiency	70
3.3	Yield contribution of curretted vines	71
3.4	Parameters for the different regions (2017-2018)	74
3.5	Variation range for costs and prices	75
3.6	Matrix of gains for curettage based on cumulative yields at age 40 (hL/ha)	76
3.7	Matrix of gains for complantation based on cumulative yields at age 40 (hL/ha)	81
3.8	Matrix of gains for curettage based on cumulative net profits (NPV) at age 40 (€/ha)	84
3.9	Matrix of gains for complantation based on cumulative net profits (NPV) at age 40 (€/ha)	86
3.10	Matrix Comparison of cumulative net profits (NPV) at age 40 according to the different scenarios	87

3.11 Average cumulative net profits (NPV) at age 40 according to the different scenarios – Monte Carlo 6000 simulations (€/ha) . . . . .	90
3.12 Difference in average cumulative net profits (NPV) between high and low efficiency of the practices at age 40 according to the different scenarios : Monte Carlo 6000 simulations (€/ha) . . . . .	90
3.13 Cumulative net present value for age 40 according to the different scenarios – Monte Carlo 6000 simulations (€/ha) – PDO Pauillac (LE : low efficiency ; HE : high efficiency) . . . . .	96
3.14 Cumulative net present value for age 40 according to the different scenarios – Monte Carlo 6000 simulations (€/ha) – PDO Cognac Cru Fins Bois (LE : low efficiency ; HE : high efficiency) . . . . .	96
3.15 Cumulative net present value for age 40 according to the different scenarios – Monte Carlo 6000 simulations (€/ha) – PDO Entre-deux-Mers (LE : low efficiency ; HE : high efficiency) . . . . .	97
3.16 Average cumulative discounted profits (€/ha) over 40 years with a 4% discount rate and 2018 euros for curettage, complantation, and no action practice scenarios and disease severity levels. . . . .	113
3.17 Decision-making with the Laplace criterion. Average cumulative profit across prac- tice scenarios and disease severity levels over 40 years for curettage, complantation and no action(€/ha), using a 4% discount rate and 2018 euros. . . . .	115
3.18 Decision-making with the Maximax criterion : Average cumulative profit across practice scenarios and disease severity levels over 40 years for curettage, complan- tation and no action(€/ha), using a 4% discount rate and 2018 euros between No action and low efficiency. . . . .	117
3.19 Minimum mean NPV of profit for each practice scenarios under high severity . .	118
3.20 Average regret using Savage criterion across low efficiency practices and no action for varying disease severity scenarios . . . . .	119
3.21 Average regret using Savage criterion across high efficiency practices and no action for varying disease severity scenarios . . . . .	120
3.22 Data from the PDO Entre-Deux-Mers specifications . . . . .	122

3.23	Data from the PDO Pauillac specifications . . . . .	122
3.24	Data from the PDO Cognac cru Fins Bois specifications . . . . .	123
3.25	Cumulative net discounted value over 40 years : Monte Carlo analysis with variation of wine price and cost of practice for the region of Entre-deux-Mers . .	123
3.26	Cumulative net discounted value over 40 years : Monte Carlo analysis with variation of wine price and cost of practice for the region of Pauillac . . . . .	124
3.27	Cumulative net discounted value over 40 years : Monte Carlo analysis with variation of wine price and cost of practice for the region of Cognac cru Fins Bois	124
3.28	Decision making with the Bernoulli's criterion . . . . .	125
4.1	Statistiques descriptives des variables quantitatives . . . . .	149
4.2	Wald Chi-Squared Test pour la modélisation du dépérissement . . . . .	172
4.3	Modélisation du dépérissement : Données avec imputations et sans variables de pratiques . . . . .	173
4.4	Wald Chi-Squared Test pour la modélisation du rendement . . . . .	174
4.5	Modélisation du rendement avec les données avec imputation et sans les variables de pratiques . . . . .	175
4.6	Wald Chi-Squared Test pour la modélisation de la longévité . . . . .	176
4.7	Modélisation de la longévité avec les données avec imputation et sans les variables de pratiques . . . . .	177
4.8	Wald Chi-Squared Test pour l'estimation des classes du dépérissement avec les variables de pratiques . . . . .	178
4.9	Modélisation du dépérissement avec les données avec imputation et avec les variables de pratiques . . . . .	179
4.10	Wald Chi-Squared Test pour l'estimation du rendement avec les variables de pratiques . . . . .	180
4.11	Modélisation du rendement avec les données avec imputation et avec les variables de pratiques . . . . .	180
4.12	Wald Chi-Squared Test pour l'estimation de la longévité avec les variables de pratiques . . . . .	181

---

4.13	Modélisation de la longévité avec les données avec imputation et avec les variables de pratiques . . . . .	182
4.14	Confusion matrix : Variable classe dépérissement . . . . .	190
4.15	Confusion matrix : Classe rendement . . . . .	191
4.16	Confusion matrix : Classe longévité . . . . .	192
4.17	Tableaux de synthèse des résultats selon la méthode utilisée . . . . .	200
A.1	Dictionnaire des variables . . . . .	248
A.2	Nombre de valeurs manquantes par question . . . . .	248
A.3	Représentation des modalités des variables actives dans le premier plan . . . . .	251
A.4	Représentation des modalités des variables supplémentaires dans le premier plan	252
A.5	Représentation des modalités des variables actives dans le premier plan . . . . .	253
A.6	Représentation des modalités des variables supplémentaires dans le premier plan	254
A.7	Représentation des modalités des variables actives dans le premier plan . . . . .	255
A.8	Représentation des modalités des variables supplémentaires dans le premier plan	256
A.9	Représentation des modalités des variables actives dans le premier plan . . . . .	257
A.10	Représentation des modalités des variables supplémentaires dans le premier plan	258
A.11	Modélisation du dépérissement . . . . .	259
A.12	Modélisation du rendement . . . . .	259
A.13	Modélisation de la longévité . . . . .	260
A.14	Modélisation du dépérissement . . . . .	260
A.15	Modélisation du rendement . . . . .	261
A.16	Modélisation de la longévité . . . . .	261

---

## Abréviations

- **ACM** : Analyse des correspondances multiples
- **AOC** : Appellation d'Origine Contrôlée
- **AOP** : Appellation d'Origine Protégée
- **BIPE** : Bureau d'informations et de prévisions économiques
- **CART** : Classification And Regression Trees
- **CNIV** : Comité National des Interprofessions des Vins à appellation d'origine et à indication géographique
- **FAO** : Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
- **FEVS** : Fédération des Exportations des Vins et spiritueux française
- **GTD** : Grapevine Trunk Diseases
- **MDB** : Maladie du Bois de la Vigne
- **OIV** : Organisation Internationale de la Vigne et du vin
- **PIB** : Produit Intérieur Brut
- **PNDV** : Plan National Dépérissement du Vignoble
- **RF** : Random Forest

---

## Introduction générale

Le secteur agricole est l'un des secteurs les plus importants pour l'économie d'un pays. Cela vaut aussi bien pour les pays en développement que pour les pays développés. Une étude de l'Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) en 2020 a mis en évidence le caractère primordial du secteur agricole pour l'économie mondiale. Ce secteur représenterait 4,3% du produit intérieur brut mondial (PIB) de 2021 (Bank, 2022). La valeur ajoutée du secteur atteindrait jusqu'à plus de 25% dans certains pays en développement (2018).

En plus de favoriser l'autosuffisance et d'assurer la sécurité alimentaire, le secteur agricole représente un moteur pour différents secteurs de l'économie, à la fois sur le plan économique et social. Il impacte positivement le secteur du travail en réduisant efficacement le chômage par la création de nombreux emplois et le secteur du tourisme en participant à son développement par la préservation de l'environnement et l'embellissement du paysage. On note que le secteur agricole a un impact très positif sur le taux de chômage en fournissant des emplois en amont et en aval dans différents secteurs. Par exemple, selon une étude de Synovivo et Managéria réalisée en 2021, le secteur agricole regroupe plus de 1,3 million d'emplois. En Inde, ce secteur fournit de l'emploi à plus de 60 % de la population (Arjun, 2013). On note également que dans la plupart des pays en développement, en particulier ceux des pays africains, l'agriculture représente le premier moyen d'emplois des populations (Reardon, Taylor, Stamoulis, Lanjouw, & Balisacan,

2000 ; Simbi & Aliber, 2000).

Lorsque l'on considère le secteur agricole français, selon le dernier recensement de L'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE) en 2019 (parus en juillet 2022), le secteur agricole compte 670 000 emplois soit 2,6% de l'emploi total en France métropolitaine (FNSEA, 2022). Il représentait 1,6% du PIB en 2021. Ce secteur est principalement porté par la filière viti-vinicole qui représente à elle seule 17% de la production agricole française, soit une valeur de 12 milliards d'euros en 2020 (FranceAgrimer, 2022). Selon une étude de la Fédération des exportations des vins et spiritueux français (FEVS, 2023), elle représente, en 2022, le deuxième secteur excédentaire en France après l'aéronautique avec un excédent estimé à 15,7 milliards d'euros (+10,3 %).

C'est sur cette filière économiquement et socialement très importante en France et dont la grande différenciation des produits est propice pour des analyses économiques que se concentre la thèse.

## 1.1 La filière viti-vinicole : importance économique

La filière viti-vinicole peut être représentée en trois sous-systèmes : les agrosystèmes viticoles qui servent à la production du raisin (la viticulture), les systèmes de transformation qui servent à l'élaboration du vin (la viniculture) et les systèmes de création de valeur qui prennent en compte les acteurs économiques de la chaîne de valeur (le marketing) (Brugière et al., 2016 ; FranceAgriMer, 2022). Selon les statistiques de l'Organisation Internationale de la Vigne et du vin (OIV), la superficie mondiale du vignoble est estimée à 7,3 millions d'hectares en 2022 (OIV, 2023). Cette superficie représente l'ensemble des surfaces de vigne pour la production des jus, des raisins de table, des raisins secs et du vin (OIV, 2023). Bien que la filière viti-vinicole génère d'autres produits tels que les jus de raisin, les raisins de table et les raisins secs, le produit le plus rentable économiquement pour la filière est le vin.

### 1.1.1 Une compétitivité de plus en plus accrue

La filière viti-vinicole est entrée depuis plusieurs années dans un processus de globalisation (Cardebat, 2017). Dans les années 1960, les principaux producteurs mondiaux de vin étaient

la France, l'Italie, l'Espagne, l'Allemagne et le Portugal. Ceux-ci dominaient l'industrie du vin avec 63% de la production mondiale de vin en volume. La France et l'Italie représentent à elles seules près de la moitié (47%) de la production mondiale. 40% des exportations du marché sont représentées par ces quatre producteurs historiques que sont : la France, l'Italie, le Portugal et l'Espagne (K. Anderson & Nelgen, 2011 ; Morrison & Rabellotti, 2017). Selon les dernières statistiques de l'OIV (2023), la production mondiale de vin en 2022 (hors jus et moûts) est estimée à 258 millions d'hectolitres. L'Italie, la France et l'Espagne restent les pays dominant l'industrie du vin avec respectivement 49,8, 45,6 et 35,7 millions d'hectolitres (mhl), ce qui représente 51 % de la production en 2022 OIV (2023).

Cependant, ces producteurs historiques de vin ne sont pas à l'abri d'une sérieuse concurrence face aux nouveaux pays producteurs de vins (appelés les pays du nouveau monde). En effet, depuis la seconde moitié du XXe siècle nous assistons à une extension géographique de la culture de la vigne dans le monde (Cardebat, 2017). Cette extension s'est réalisée en deux vagues successives (Morrison & Rabellotti, 2017) : d'abord, aux États-Unis, en Argentine, en Australie et en Afrique du Sud dans les années 80 et ensuite, en Chine, au Chili et en Nouvelle-Zélande, au Brésil dans les années 2000. Cela a entraîné une grande diversification de l'offre faisant du marché du vin un marché fortement concurrencé.

Les nouveaux pays producteurs se lancent dans la course du rattrapage avec de nouvelles techniques de production et une montée en gamme (Morrison & Rabellotti, 2017). La globalisation du marché se poursuit, entraînant avec elle une exigence croissante de compétitivité et de lisibilité des produits (Thorpe, 2009). Les volumes de production de ces pays se rapprochent de plus en plus de celles des pays historiques (OIV, 2016, 2022, 2023). Les statistiques de l'Organisation internationale de la vigne et du vin (OIV) font l'état des productions de ces pays du nouveau monde en 2022 (OIV, 2023). Par exemple, la production des États-Unis est estimée à 22,4 millions d'hectolitres (mhl), celle de l'Australie est de 12,7 mhl, du Chili avec 12,4 mhl, de l'Argentine avec 11,5 mhl et de l'Afrique du Sud avec 10,2 mhl. Cependant, les exportations des pays historiques montrent qu'ils sont bien toujours leaders sur le marché du vin. On note que l'Italie, l'Espagne et la France représentent à eux seuls 53% des exportations mondiales, soit 57 millions d'hectolitres en 2022 (OIV, 2023). La France, premier exportateur mondial de vin en valeur et deuxième producteur en volume, reste un pays incontournable dans le portefeuille des

importateurs (Defraigne & Nouveau, 2022).

### 1.1.2 Un secteur d'investissement : diversification de portefeuille

La filière viti-vinicole est un secteur particulièrement intéressant pour des analyses économiques. En effet, la grande atomicité des produits qui découle de la filière permet d'étudier différents types de biens. On trouve dans le secteur viti-vinicole des biens ordinaires et des biens de luxe avec les vins haut de gamme. En plus de la grande atomicité des produits, la filière représente un champ d'investissement très important. En effet, le temps représente un facteur prépondérant dans la valeur finale du vin. Ainsi, plus le vin reste en conservation, plus il se bonifie et prend de la valeur. Les agents économiques achètent donc des bouteilles de vin, les conservent dans une cave pour qu'ils prennent de la valeur et les revendent plus cher sur le marché pour faire du profit. L'investissement dans le vin représente ainsi un moyen de diversification des investissements en portefeuille (Ashenfelter, 1989; Sanning, Shaffer, & Sharratt, 2008; Masset & Henderson, 2010; Fogarty, 2010b; Fogarty & Sadler, 2014).

Sanning et al. (2008) ont montré que le vin de Bordeaux de haute qualité est un bon instrument d'investissement, car il génère en moyenne des rendements excédentaires et positifs. De plus, cet investissement est faiblement exposé aux facteurs de risque du marché. Ce faible risque est dû à l'évolution croissante de la qualité du vin avec le temps. Masset et Henderson (2010) ont également analysé les avantages du vin comme actif financier. Ils montrent que l'un des avantages d'investir dans des vins de haute qualité réside dans la faible corrélation entre les rendements du vin et les actifs. Ils considèrent cela comme un bon moyen pour réduire le risque d'un portefeuille d'actions.

Cependant, les études sur la rentabilité de l'investissement dans le vin donnent des résultats qui peuvent être mitigés. Selon certaines études, l'investissement dans le vin serait peu attrayant et peu rentable. Par exemple, Krasker (1979) a évalué le taux de rentabilité du stockage des vins par rapport aux bons du Trésor et a montré que le vin n'était pas un investissement plus intéressant que celui des rendements des actifs sans risque. Weil (1993) dans une étude sur l'investissement dans les vins américains montre également que cet investissement est moins profitable pour les agents économiques. Selon les résultats, la détention des actions serait plus

rentable. [Burton et Jacobsen \(2001\)](#) analysent quant à eux la rentabilité des investissements dans les vins de Bordeaux. Les conclusions de leurs résultats révèlent également que le vin n'est pas plus bénéfique que les actifs financiers, particulièrement à cause de la volatilité des revenus et des coûts de transaction. Néanmoins, selon [Fogarty \(2010b\)](#), l'investissement dans le vin aurait pourtant des avantages. Son étude montre qu'une allocation positive au vin réduirait le risque d'un portefeuille d'environ 6,7 %.

Il est également vrai que la nature très homogène du marché du vin le rend complexe. Cette homogénéité est due à la multiplicité de facteurs qui entrent dans la détermination de la valeur et du prix du vin. En effet, le millésime, la notoriété, le classement et la notation sont des facteurs qui peuvent influencer le prix d'un vin ([Masset & Henderson, 2010](#)). Ainsi, l'investissement dans le marché du vin nécessite une réelle connaissance de ses déterminants. La perspective de long terme est également à prendre en compte. Les prix peuvent être influencés par les cycles économiques (crises financières, crises sanitaires). Par exemple, les prix du vin auraient chuté de 25 % après la crise financière de 2008 ([Masset & Henderson, 2010](#)). Cependant, selon une étude de [Cevik et Sedik \(2014\)](#), après cette crise financière de 2008 qui a dévasté les marchés mondiaux des actions, l'indice Liv-ex Fine Wine Investable a connu une augmentation significative entre 2009 et juin 2010. Cette hausse a été estimée à 62 % au-delà même les indices mondiaux des marchés des actions et des matières premières. Tous ces facteurs font du secteur viti-vinicole un champ d'analyse économique particulièrement intéressant. Cependant, comme c'est le cas dans plusieurs secteurs agricoles, ce secteur rencontre des problèmes productifs liés à des facteurs biotiques et abiotiques qui créent un réel déséquilibre sur les marchés agricoles en général et sur le marché du vin en particulier.

## 1.2 Dépérissement dans le secteur agricole : un phénomène multifactoriel

De tout temps, le secteur agricole dont le lien au milieu naturel est très fort a été sujet à des phénomènes naturels qui fragilisent la production. Les changements climatiques et les agressions biologiques impactent négativement les rendements, la longévité des plantes et des

parcelles, ainsi que la qualité de la production dans les différentes filières du secteur. On parle ainsi de dépérissement, phénomène multifactoriel dont les effets peuvent varier selon les cultures, les filières et les zones géographiques. Les plantes pérennes sont particulièrement sensibles au dépérissement qui a été très étudié dans la littérature pour les forêts (Camara et al., 2009 ; Miller & Gross, 2011 ; Allen et al., 2009 ; Fauset et al., 2012 ; Allen et al., 2015 ; Esquivel-Muelbert et al., 2019 ; Powers et al., 2020) et les vignes (Santos et al., 2006 ; Romanazzi et al., 2009 ; Solé et al., 2011 ; Lecomte et al., 2014 ; Ridgway et al., 2014 ; Ashenfelter & Storchmann, 2016, 2016 ; Mondello, Larignon, et al., 2018 ; Arora et al., 2020 ; Kenfaoui et al., 2022). La revue de la littérature sur les études menées pour l'analyse du dépérissement des forêts et celui de la vigne nous permet de mieux appréhender les effets de ce phénomène. L'analyse des études sur le dépérissement des forêts est particulièrement intéressante, car certains facteurs à l'origine de ce dépérissement sont communs avec le dépérissement de la vigne (Fanon, 1806 ; Keast & Walsh, 1979). Cela est dû au fait que la notion du dépérissement en elle-même tire son origine des secteurs forestier et arboricole (IDF, 2019).

### 1.2.1 Dépérissement des forêts

Le dépérissement de la forêt est défini comme la détérioration progressive de la santé des arbres, conduisant parfois à leur mort prématurée (Mueller-Dombois, 1987 ; Lapola et al., 2018). Il est causé par plusieurs facteurs tels que les maladies et les agents pathogènes, les attaques d'insectes et les conditions climatiques stressantes (ACT, 2023). Selon la littérature, le dépérissement des forêts peut être dû à une combinaison de ces différents facteurs ou même à un seul de ces facteurs. On note que lorsqu'un arbre est stressé par l'un de ces facteurs, il devient plus vulnérable aux autres agressions. Des études tels que celles de Allen et al. (2009, 2015) et Hartmann et al. (2018) ont montré que la hausse de la mortalité des arbres était en grande partie due à des variations climatiques qui modifient l'écosystème des arbres. Cette situation rend les arbres plus vulnérables aux agents pathogènes qui représentent un autre facteur du dépérissement des forêts (ACT, 2023 ; Manion, 2003 ; van Mantgem, Stephenson, Keifer, & Keeley, 2004).

Différentes études scientifiques se sont penchées sur l'évolution du dépérissement des forêts

dans le monde entier en lien avec le changement climatique ([Allen et al., 2009, 2010, 2015](#); [Hartmann et al., 2018](#)) et les maladies du bois ([ACT, 2023](#); [Manion, 2003](#); [van Mantgem et al., 2004](#)). Selon des études en Californie, on note qu'entre 2012 et 2016, des dizaines de millions d'arbres sont morts ([Moore, Woods, Ellis, & Moran, 2017](#)) à la suite de la très grande période de sécheresse ([Griffin & Anchukaitis, 2014](#)). Des études réalisées sur des forêts tropicales Amazoniennes du Brésil, qui représentent les forêts les plus diversifiées ([Keil & Chase, 2019](#)), montrent une vulnérabilité croissante des arbres à cause des périodes à répétition de sécheresse ([Fauset et al., 2012](#); [Esquivel-Muelbert et al., 2019](#); [Powers et al., 2020](#)).

Selon une carte réalisée par l'Office National des Forêts françaises (ONF), le dépérissement a engendré en 2019 une perte de plus de 218 305 d'hectares de forêts publiques ([ONF, 2019](#)). Selon ces statistiques, depuis 2018, plus de 300 000 ha de forêt publique sont touchés par ce phénomène dont les principaux facteurs sont les sécheresses et les insectes ravageurs, des champignons ou autres parasites ([ONF, 2019](#)). Ces différents facteurs sont eux-mêmes amplifiés par le changement climatique ([Pochard-Casabianca, 2022](#)). Une étude de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) réalisée en 2021 ([IGN, 2021](#)) montre qu'entre 2015 et 2019 plus de 104 millions de mètres cube d'arbres sont morts sur le territoire français. Selon ([IPCC, 2019](#)), les intenses périodes de sécheresse et les vagues de chaleur causées par le changement climatique menacent dangereusement la forêt mondiale.

Le dépérissement des forêts a des effets non négligeables sur le secteur économique, social et environnemental. Différentes études ont étudié les effets négatifs de ce phénomène et les politiques mises en place pour lutter contre le dépérissement des forêts ([Webber et al., 2010](#); [Jepson & Arakelyan, 2017](#); [Lapola et al., 2018](#); [Hartmann et al., 2022](#); [Brèteau-Amores et al., 2022](#)). En effet, vu la grande importance des forêts pour la vie humaine, la gestion du dépérissement doit être optimale. Les politiques mises en place pour lutter contre le phénomène doivent prendre en compte différents aspects et l'impact social et économique pour les populations. Par exemple, [Lapola et al. \(2018\)](#) soulignent dans leur étude l'impact négatif du dépérissement des forêts sur le niveau d'eau des rivières, le transport, la sécurité alimentaire et la santé. Ainsi, les actions prises pour lutter contre la dégradation des forêts doivent tenir compte de tous les scénarios possibles. Les pertes économiques sont colossales, on note des pertes nette actualisée sur 30 ans estimées

entre 957 milliards et 3 589 milliards de dollars américains pour l'Amazonie brésilienne. Au Canada, les pertes économiques liées aux effets des ravageurs des forêts canadiennes (insectes et pathogènes) sont estimées à plusieurs centaines de millions de dollars ([Gouvernement of Canada, 2020](#)).

Il est donc important de trouver les bonnes méthodes pour faire face au dépérissement et les bonnes politiques pour accompagner leur mise en œuvre, ce qui passe par des analyses coût-bénéfice sur le plan social, économique et environnemental. [Hartmann et al. \(2022\)](#) soulignent par exemple l'importance de trouver des solutions pour éviter à l'avenir une grande perte des forêts à cause du changement climatique. Ils notent le potentiel des progrès de la technique pour faciliter la lutte contre ce phénomène. En effet, les nouvelles techniques pourraient permettre de mieux collecter les informations sur le terrain (la télédétection, les satellites...) pour mieux prédire les effets dus au phénomène, réduire l'incertitude dans les prises de décisions pour les différents investissements et ainsi, mieux lutter contre le dépérissement des forêts.

### 1.2.2 Dépérissement des vignes

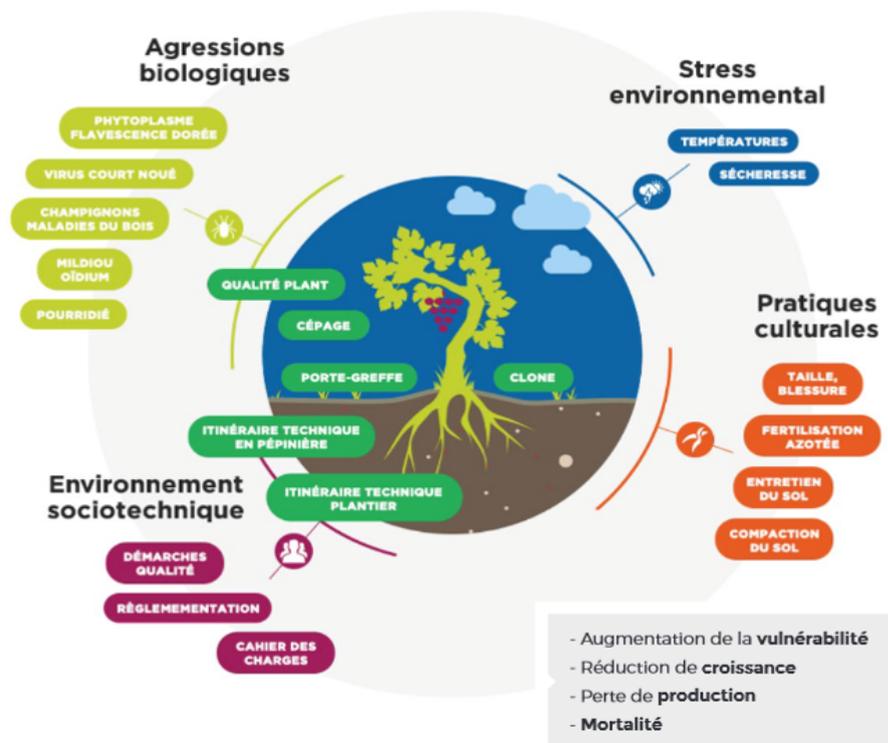
Le dépérissement de la vigne, tout comme celui des forêts, est un phénomène mondial qui pénalise la production viticole sur le long terme ([Santos et al., 2006](#) ; [Romanazzi et al., 2009](#) ; [Solé et al., 2011](#) ; [Lecomte et al., 2014](#) ; [Ridgway et al., 2014](#) ; [Ashenfelter & Storchmann, 2016](#) ; [Mondello, Larignon, et al., 2018](#) ; [Arora et al., 2020](#) ; [Kenfaoui et al., 2022](#)). Un diagnostic approfondi réalisé en 2015-2016 par FranceAgriMer<sup>1</sup>, le CNIV<sup>2</sup> et le cabinet BIPE<sup>3</sup> ont défini le dépérissement du vignoble comme un phénomène multifactoriel qui entraîne une baisse brutale et pluriannuelle de la productivité et une mort prématurée, brutale ou progressive, des ceps de vigne. Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine de ce phénomène. On les regroupe en 4 types de facteurs, à savoir les stress environnementaux (changement climatique), les agressions biologiques (agents pathogènes, insectes), les pratiques viticoles et l'environnement socio-technique extérieur aux exploitations (Figure 1.1).

---

1. Établissement national des produits de l'agriculture et de la mer

2. Comité National des Interprofessions des Vins à appellation d'origine et à indication géographique

3. Le Bureau d'informations et de prévisions économiques (BIPE) est un cabinet de conseil en stratégie.



Source : Plan National Dépérissement du Vignoble (PNDV, 2020)

FIGURE 1.1 – Facteurs de dépérissement du vignoble

Ces facteurs augmentent la vulnérabilité des vignobles, réduisent la croissance, entraînant des pertes de production et une mortalité précoce des ceps (Ellis-Iversen et al., 2010; Riou et al., 2016; Livat et al., 2019; Hillis et al., 2017). Parmi ces différents facteurs, deux ont particulièrement été étudiés dans la littérature et sont considérés comme les plus dévastateurs. Il s'agit du changement climatique avec des effets tels que les perturbations météorologiques, les gels, les grêles, les sécheresses, etc. (Winkler, 1974; White et al., 2006; Ashenfelter & Storchmann, 2010b; Fogarty, 2010a; Hannah et al., 2013; Gambetta, 2016; Ashenfelter & Storchmann, 2016) et des maladies du bois liées à des agents pathogènes (Larignon et al., 2009; Grosman & Doublet, 2012; Lecomte & Darrietort, 2014; Fontaine et al., 2016; OIV, 2016; Delmas et al., 2016; Baumgartner et al., 2019; Guerin-Dubrana et al., 2019; Cholet et al., 2021).

### 1.2.2.1 Impact du changement climatique sur la filière viti-vinicole

Selon une étude de [Burke et Tanutama \(2019\)](#), dans laquelle ils évaluent les effets globaux et distributifs du réchauffement des températures, il est estimé que depuis 2000 le réchauffement climatique aurait engendré une perte estimée à au moins 4 000 milliards de dollars aux États-Unis et dans l'Union Européenne, impactant ainsi négativement le développement économique. Le changement climatique est défini comme la variation du climat qui lui, est représenté par le temps moyen ([Solomon, Qin, Manning, Averyt, & Marquis, 2007](#)). La variation de ce temps moyen a d'énormes effets sur le secteur agricole en général et notamment sur le secteur viticole ([Winkler, 1974](#); [White et al., 2006](#); [Hannah et al., 2013](#)).

Différentes études dans la littérature se sont penchées sur l'analyse du secteur viti-vinicole dans un contexte de changement climatique et de perturbations atmosphériques ([Amerine et al., 1944](#); [Winkler, 1974](#); [Gladstones, 1992](#); [Lobell et al., 2006](#); [Sadras et al., 2012](#); [Ashenfelter & Storchmann, 2016](#)). Ces perturbations constituent l'un des principaux facteurs du dépérissement des vignes. Les éléments tels que la température, l'humidité atmosphérique, les précipitations (grêle, gèle, pluie, neige) et la porosité des sols influencent le bilan hydrique de la vigne et participent à sa maturité ([Jones, Reid, & Vilks, 2012](#); [Schultz, 2016](#); [Gambetta, 2016](#)). Les fortes variations et modifications du climat perturbent non seulement la croissance des plantes et du raisin (et donc le rendement([Fraga, García de Cortázar Atauri, Malheiro, & Santos, 2016](#); [Van Leeuwen et al., 2019](#); [Arora et al., 2020](#); [Manohar, 2022](#))), mais également la qualité des baies et du vin ([De Orduna, 2010](#)).

Concernant le rendement, dans une étude sur l'impact du changement climatique sur les rendements des cultures pérennes en Californie, [Lobell et al. \(2006\)](#) montrent un effet négatif sur le long terme pour le rendement. Les résultats mettent en évidence que le changement climatique pourrait entraîner une baisse de rendement importante des raisins de table d'ici 2050. [Fraga et al. \(2016\)](#) modélisent l'effet du changement climatique sur le rendement de la viticulture en Europe et montre qu'une sécheresse accrue et avec un stress hydrique sévère réduit localement le rendement. Enfin, [Manohar \(2022\)](#) montre qu'une grande fluctuation de la température peut engendrer des pertes de rendement de raisin. Les résultats soulignent qu'un écart de 1°C au-dessus de la température moyenne annuelle entraîne une baisse de 21,3 points

de pourcentage de la valeur de la production pour une année donnée. Le changement climatique oblige ainsi les viticulteurs à changer les dates de récolte pour une meilleure adaptation aux variations climatiques (Van Leeuwen & Darriet, 2016).

Deuxièmement, concernant la qualité de la récolte, dans la mesure où la phénologie de la vigne est nettement influencée par la température, le changement climatique impacte également la teneur en sucre, l'acidité, la couleur et la qualité des baies (Amerine et al., 1944 ; Winkler, 1974 ; Gladstones, 1992 ; Sadras et al., 2012). Ainsi, la variation de la température due aux perturbations atmosphériques a inévitablement des répercussions sur la qualité du vin produit (Byron & Ashenfelter, 1995 ; Haeger & Storchmann, 2006 ; Ashenfelter & Storchmann, 2010a, 2010b), tout comme les changements de date de récolte (Arora et al., 2020).

Puisqu'il nécessite une adaptation des viticulteurs, le changement climatique impacte également les coûts de production, les prix de vente, la rentabilité économique des exploitants et finalement la compétitivité des entreprises viticoles (Ashenfelter & Storchmann, 2016). Le climat représente ainsi un facteur très important dans la valeur finale du vin (Ashenfelter & Storchmann, 2010b). Mais contrairement aux autres cultures annuelles telles que le blé, le coton et le maïs, la vigne est une culture pérenne et cette nature pérenne peut rendre son adaptation au changement climatique plus long (Ashenfelter & Storchmann, 2016). De plus, la nature des sols sur lesquels sont plantés les vignes (sols souvent pauvres et rocailloux) constitue également un frein pour une adaptation rapide (Ashenfelter & Storchmann, 2010b). Cependant, les effets du changement climatique ne sont pas toujours négatifs et peuvent même être positifs pour d'autres régions viticoles. Pour certaines régions, les températures deviennent plus favorables pour la viticulture, notamment dans les pays du nouveau monde viticole, voire dans des pays qui ne produisaient pas de raisins de cuve auparavant (Nemani et al., 2001 ; White et al., 2006 ; Jones, White, Cooper, & Storchmann, 2005 ; Ashenfelter & Storchmann, 2016). Cette situation engendre une compétitivité plus importante dans la filière rendant les pays historiques du vin de plus en plus vulnérables, en particulier la France qui a une réglementation de la filière viti-vinicole très stricte, notamment en viticulture d'appellation.

### 1.2.2.2 Impact des maladies du bois (MDB) sur la filière viti-vinicole au niveau mondial

La filière viti-vinicole, comme le reste du secteur agricole, a toujours été exposée à de nombreuses crises sanitaires. En France, Par exemple, l'apparition du mildiou en 1879, les crises d'oïdium en 1854 et celles du phylloxéra dans les années 1870 ont eu des impacts importants sur la filière (Quéré & Sermier, 2015). Ainsi, la filière doit faire face et s'adapter à ces chocs qui remettent sans cesse en cause la pérennité des vignobles ainsi que les acquis de la vigne et de sa culture. Aujourd'hui, elle fait face à une nouvelle menace avec ces maladies du bois qui préoccupent le monde viticole et figurent parmi les principaux facteurs de dépérissement du vignoble (Larignon et al., 2009). Le terme "maladies du bois" est un terme générique qui regroupe aujourd'hui six maladies d'origine cryptogamique qui attaquent les vignobles du monde entier (Fontaine et al., 2016). Chacune de ces maladies a sa spécificité dans chaque région viticole du monde. La maladie du bois appelée Eutypiose est une maladie principalement présente en Australie, Nouvelle-Zélande, Californie (USA), Hongrie, Espagne et France (Mondello, Larignon, et al., 2018). L'Esca et le Black Dead Arm (BDA) sont des maladies présentes principalement dans les pays européens producteurs historiques de vin.

Les MDB ont évolué en Europe depuis l'interdiction de l'arsénite de soude pour leur traitement à cause de sa toxicité en 2001. Au cours des 15 dernières années, on observe une augmentation significative de l'incidence des maladies du bois (MDB) dans le monde entier (Bruez et al., 2013; Fontaine et al., 2016; Guerin-Dubrana et al., 2019; OIV, 2016). La plupart des vignobles sont attaqués par une ou plusieurs maladies du tronc de la vigne. Par exemple, en Italie, on note que l'incidence de la maladie de l'Esca a atteint 60 % à 80 % dans certains vignobles matures, après une première interdiction d'arsénite de soude en 1970 (Romanazzi et al., 2009; Fontaine et al., 2016). En Espagne, entre 2003 et 2007 le taux d'affectation des maladies du bois est passé de 1,8% à 10,5% (Rubio & Garzón, 2011). Les agents pathogènes en cause provoquent plusieurs infections chroniques du bois qui se développent lentement dans la vigne. Les symptômes de ces maladies apparaissent parfois plusieurs années avant la mort de la vigne et de manière sporadique (Lecomte & Darrietort, 2014; Hillis et al., 2017; Baumgartner et al., 2019).

Ces maladies conduisent, à court ou à moyen-long terme, à la mort de la vigne (réduction

de la longévité) et/ou contribuent à une diminution durable des rendements. En termes de conséquences économiques, on note que le coût économique mondial du remplacement des vignes mortes dues aux MDB est estimé à plus de 1,5 milliard de dollars par an (Hofstetter et al., 2012; Fontaine et al., 2016). On relève également des pertes de rendement de plus en plus importantes dans les régions viticoles de la Californie (Smart, 2015; Baumgartner et al., 2019). Une étude de Siebert (2001) estimait les pertes économiques associées à au moins 260 millions de dollars américains par an. En Australie, les pertes économiques liées à la maladie du bois de l'Eutypiose ont été estimées à 8,3 milliards de dollars (Ridgway et al., 2014; Fontaine et al., 2016). Rego et al. (2006) and Fontaine et al. (2016) montrent qu'au Portugal, les maladies du bois telles que la Botryosphaeriose et l'Esca impactent négativement les vignes et génèrent d'importantes pertes économiques. En plus de la longévité et du rendement, des études ont montrées que le MDB affectent négativement la qualité du vin produit (Jourdes, 2015; Cholet et al., 2021). Par exemple, Jourdes (2015) a montré qu'à partir de 5 % de vignes exprimant des symptômes de MDB, la qualité du vin est impactée. Cette perte de qualité est préjudiciable à la réputation des vins et entraîne souvent une baisse de leur valorisation. Les MDB menacent donc la filière viti-vinicole à la fois quantitativement et qualitativement.

## 1.3 La filière viti-vinicole française : une vulnérabilité plus accrue au dépérissement

### 1.3.1 Le dépérissement dans le vignoble français

En France, on assiste à une augmentation très importante de la mortalité des vignes, entraînant l'érosion des rendements qui fragilise la productivité du vignoble français malgré des efforts notables pour le restructurer et le rénover. Si on remonte dans le temps, dès 2012, 13,2% du vignoble français a été déclaré improductif selon une étude de la Direction Générale de l'Alimentation (DGAL). Les estimations de l'IFV indiquent que le taux moyen de vignes improductives dans le vignoble était d'environ 12 % en 2014. En 2015, selon le Président du comité recherche et développement de FranceAgrimer, on estime également qu'entre 3 et 5 millions d'hectolitres de vins et spiritueux sont perdus chaque année (Quéré, Sermier, et al.,

2015). On note qu'entre 10 et 15 % de la production potentielle a été perdue cette année-là. L'analyse réalisée par le BIPE, le CNIV et FranceAgriMer en 2016 stipule ensuite que les agressions biologiques (champignons, bactéries, virus, ravageurs et maladies non infectieuses), les stress environnementaux (changement climatique, pratiques viticoles, etc.) et l'environnement socio-technique (matériel végétal disponible et cahier des charges) seraient à l'origine d'une perte de rendement annuel de 4,6 hl/ha dans les vignobles français. En 2021, on a enregistré en France une baisse de la production de 19 % par rapport à l'année 2020 et de 14 % par rapport à la moyenne des productions des cinq dernières années. L'année 2021 a été particulièrement marquée par ces perturbations météorologiques (gel tardif d'avril). La production de 2021 représente l'un des plus bas niveaux enregistrés depuis l'année 2000 (OIV, 2022). On observe d'importantes pertes de rendement à cause des périodes de gelée tardive, de grêle, d'orages et la propagation des maladies du bois de la vigne telles que le mildiou, de l'oïdium et l'Esca.

Tous ces effets sont des conséquences du phénomène du dépérissement de la vigne (Grosman & Doublet, 2012; Fontaine et al., 2016). Le potentiel de production français diminue alors que celui des concurrents augmente. En 2014, les pertes économiques des maladies du bois en France sont estimées à plus de 1 milliard d'euros par an pour la filière viticole par l'Institut français de la vigne et du vin (IFV) (Fontaine et al., 2016). Les entreprises viticoles françaises connaissent ainsi un ralentissement de leur force productive qui pourrait à long terme impacter leur compétitivité.

Un département français est particulièrement concerné par les effets du dépérissement à cause de son impact significatif sur la filière viticole : le département de la Gironde. En effet, le département de la Gironde est le premier département viticole de la France avec une surface estimée à 115 223 hectares en 2019. Il représente 15 % de la production nationale en volume (Agreste, 2020). C'est également le deuxième département viticole de France en valeur, avec une production estimée à 2,1 milliards d'euros en 2018 (Agreste, 2020). Ce département est également classé au premier rang national de la viticulture d'appellation française avec 26 % des surfaces viticoles sous AOP France entière, soit 112 734 ha. En plus de son impact économique qui permet au secteur d'être le deuxième secteur commercial (Agreste, 2020; FEVS, 2023), la Gironde est considérée comme le premier des départements viticoles pourvoyeur d'emplois et de

formations dédiées. On dénombrait en effet en 2019 plus de 7 555 établissements employant 32 000 personnes composées de 27 000 salariés et 5 000 non-salariés (Agreste, 2020). Le département abrite les vignobles de Bordeaux, l'une des régions viticoles les plus célèbres au monde. De plus, le vignoble bordelais représente le premier employeur du département avec environ 60 000 emplois directs et indirects en 2019 (CIVB, 2019).

Le département est particulièrement touché par le phénomène du dépérissement. Par exemple, on note que la proportion de ceps atteints par la maladie de Esca/BDA dans la région du département, la Nouvelle-Aquitaine, était déjà de 1 à 2 % pour le cépage Merlot, de 2 à 6 % pour le cépage Cabernet sauvignon et de 5 à 11 % pour le cépage Sauvignon entre 2003 et 2008 (CIVB, 2012). Même si son volume de production est soumis à la volonté de limiter les rendements pour l'adaptation de l'offre et la demande, la production dans le département est marquée, depuis plus de vingt ans, par l'impact des aléas climatiques et sanitaires sur les rendements. On note les coulures et sécheresse de 2002 et 2003, les pluies et gels de 2008, les grêles de 2013, les gels de 2017 (Agreste, 2020) et ceux de 2021 (OIV, 2022). Compte-tenu de l'importance économique du secteur viti-vinicole dans le département de la Gironde, pour la Région Nouvelle-Aquitaine et pour la France, le dépérissement représente un réel enjeu, tout comme la préservation ou l'amélioration de la compétitivité des entreprises viti-viticoles.

### **1.3.2 La compétitivité des entreprises viti-viticoles françaises impactée par le dépérissement**

La filière viti-vinicole représente un secteur très important pour l'économie française. Ces effets se font sentir tant au niveau économique que social. En plus d'être le deuxième secteur commercial le plus rentable en 2022 derrière le secteur de l'aéronautique (FEVS, 2023), c'est également un secteur pourvoyeur d'emplois et qui participe à la préservation de la culture française. En effet, on dénombre 500 000 emplois directs et indirects en 2019 (CNIV, 2019) et 721 000 emplois pour les vins et spiritueux en 2022 (Business, 2022). La filière booste aussi le secteur touristique avec 10 millions de visiteurs, dont 39% d'étrangers par an (CNIV, 2019; Cardebat, 2023). Selon les chiffres clés du CNIV, le vin représente à lui seul 15 % de la production agricole française en valeur. Même si le Brexit, le cours du Dollar, la taxe Trump et la pandémie de

Covid-19 ont eu une incidence directe sur l'activité à l'exportation, la France demeure le 1er exportateur mondial en valeur en 2022 avec des exportations d'une valeur de 17,2 milliards d'euros (FEVS, 2023 ; OIV, 2023). Cela représente un excédent de la balance commerciale de 15,7 milliards d'euros (OIV, 2023). La compétitivité, entendue comme la capacité des entreprises et du secteur économique en lui-même de maintenir voire augmenter ses parts de marché par rapport à la concurrence étrangère, d'un tel secteur mérite d'être conservée, voire même améliorée sur le long terme compte-tenu de son importance économique. Pourtant, plusieurs facteurs tendent à entraver de plus en plus la conservation de cette compétitivité des entreprises viticoles françaises.

La compétitivité des entreprises de la filière est influencée par différents facteurs. D'abord, on a le potentiel de production qui comprend la surface productive, le rendement et le prix, la maîtrise des facteurs environnementaux et agronomiques ainsi que la mise en place de pratiques culturales appropriées (Brugière et al., 2016). Ensuite, on a la capacité des opérateurs à conquérir des marchés à travers la création de nouvelles marques. Aussi, on a le prix à l'exportation et la segmentation de l'offre. Au niveau macroéconomique, on a le taux de change, le revenu par habitant et les habitudes de consommation des populations. Enfin, on a l'organisation de la filière et le portefeuille des marchés qui comprend le marché de substitution, la consommation intérieure, et la notoriété (Morrison & Rabellotti, 2017). Tous ces facteurs doivent être analysés et renforcés pour maintenir une bonne compétitivité. Cependant, certains facteurs tels que la capacité des opérateurs à conquérir des marchés à travers la création de nouvelles marques (Kulkova & Osemmiy, 2019), la maîtrise des facteurs environnementaux et la gestion du rendement tendent à Stagner (Cardebat, 2017). En effet, le secteur viticole français semble avoir aussi besoin de construire des marques à la hauteur de ce rayonnement et de ses ambitions, en dehors des grands vins (Cardebat, 2017). Les concurrents comme l'Italie, qui se montre particulièrement dynamique dans l'innovation des produits et leur mise en marche (Cusmano, Morrison, & Rabellotti, 2010 ; ContÁ<sup>2</sup>, Fiore, Vrontis, & Silvestri, 2015), l'Espagne qui manifeste un dynamisme de son offre sur les produits d'entrée de gamme (Inglis, 2019) et l'ascension des nouveaux pays producteurs, peuvent faire reculer des parts de marché de la France sur ce segment.

Or, le dépérissement du vignoble, multifactoriel tend à pénaliser la compétitivité des entreprises viti-vinicoles à travers les baisses de rendement et de qualité des vins produits comme nous venons de le montrer. La maîtrise de ces facteurs (biotiques et abiotiques notamment) devient

particulièrement difficile, systémique et complexe, bien que l'adaptation des viticulteurs soit nécessaire. Cette adaptation est d'autant plus difficile dans le contexte réglementaire français et européen. En effet, la production des vins en France est très différenciée avec les vins d'appellation d'origine contrôlée (AOC) et d'indication géographique protégée (IGP). Ces signes de qualité et d'origine sont régis par des cahiers de charges qui imposent une réglementation à la production, cahiers des charges validés au niveau national par l'Institut national de l'origine et de la qualité (INAO). L'interaction climat-sol-savoir-faire (i.e. le terroir) protégée par le cahier de charge détermine également la "typicité" des vins (Robinson, 2015). Ces signes officiels de qualité et d'origine, bien qu'ayant été une des forces des entreprises viticoles françaises, peuvent également constituer une faiblesse dans leur adaptation aux agressions biotiques et abiotiques (Ashenfelter & Storckmann, 2016). En effet, ces réglementations, parfois très strictes, ne facilitent pas la lutte contre le dépérissement. Elles imposent notamment la gestion du taux de vignes manquantes (vignes mortes ou absentes) sur les parcelles. Les cahiers des charges des AOC viticoles définissent en effet des limites de taux de manquants à ne pas dépasser. Sinon, un taux élevé de pieds de vigne manquants peut conduire à un déclassement des parcelles ou d'une partie de la récolte (Clem, 2018), entraînant une diminution de revenu due à la moindre valorisation des produits de l'exploitation. Aussi, une mortalité précoce des vignes entraîne un renouvellement plus rapide des parcelles, ce qui induit un investissement économique important pour la replantation (avec une période improductive de la parcelle). Une autre conséquence de la gestion des manquants est également une forte hétérogénéité de l'âge des vignes dans une parcelle, avec un impact sur la qualité des vins. Le changement de terroir ou de région est également très réglementé et il paraît difficile de changer de lieu de production, les cahiers des charges des appellations définissant le choix des cépages, des pratiques et rendant quasi impossible la délocalisation des exploitations (Ashenfelter & Storckmann, 2016). Cette contrainte peut constituer dans le long terme, si les conditions météorologiques continuent de se dégrader (sécheresse, grêles, gel, etc.) et de fragiliser les sols, une perte de compétitivité pour les entreprises viticoles françaises vis-à-vis des concurrents qui n'ont pas ces exigences d'appellation.

Le caractère aléatoire des événements précités crée une grande incertitude qui rend les investissements dans le secteur très risqués. Les agriculteurs doivent trouver un modèle de gestion leur permettant de s'adapter à cet environnement incertain. Cette adaptation devient

une condition sine qua non pour la pérennité de leur exploitation et pour assurer la compétitivité de leur entreprise (Delmas et al., 2016 ; Van Leeuwen et al., 2019) doit également tenir compte du caractère très élastique du marché du vin.

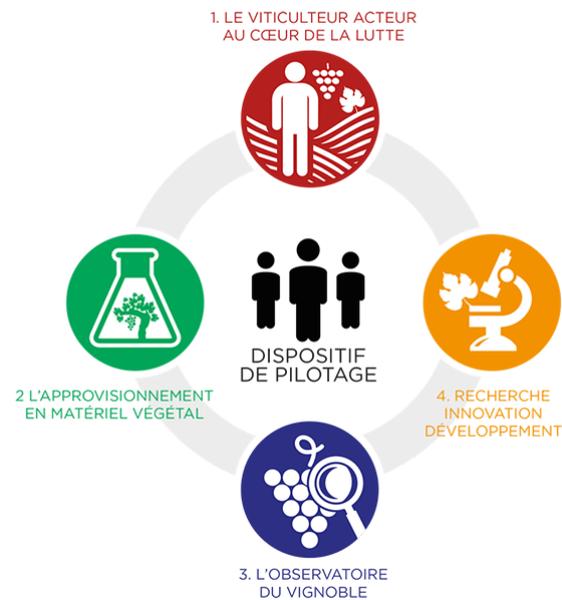
## 1.4 Contexte institutionnel de la thèse

Face à ces différents enjeux, les professionnels du secteur en lien avec les institutions françaises, ont élaboré en 2015 le Plan national Dépérissement du Vignoble (PNDV). Le PNDV traduit la volonté de la filière d’agir de manière forte pour le limiter, et ce à tous les niveaux et de manière concertée. Le plan se fixe 4 ambitions interdépendantes qui passent par la formation des viticulteurs, un travail en partenariat avec les pépiniéristes sur le matériel végétal, le développement d’outils informatiques innovant pour mieux observer le vignoble et l’engagement d’un plan de recherche ambitieux (PNDV, 2016, 2020). Il a financé plusieurs projets de recherche dans des disciplines variées, avec une priorité sur les sciences des plantes.

A travers ce plan, différentes stratégies de gestion et de lutte sur le court et le long terme sont étudiées pour protéger les récoltes de raisin du dépérissement (PNDV, 2016), l’enjeu étant d’éviter à la filière viti-vinicole française une perte conséquente de sa compétitivité. Dans le cadre de ce plan national, des études ont été effectuées par le Bureau d’informations et de prévisions économiques (BIPE), le Comité National des Interprofessions des Vins à appellation d’origine et à indication géographique (CNIV) et FranceAgriMer dans le but de faire un état des lieux de l’ensemble des causes identifiées du dépérissement, et d’acquérir de nouvelles connaissances sur les maladies et facteurs qui y sont liés (BIPE, 2015, 2016 ; FranceAgriMer CNIV BIPE, 2018). Différentes enquêtes, au plus près des viticulteurs, ont donné lieu à la construction de bases de données renseignant sur le contexte socio-économique et socio-technique des exploitations viticoles. Une synthèse sur les avancées de ce plan national du dépérissement a été réalisée en 2020 et est disponible sur le site officiel<sup>4</sup> (PNDV, 2020)

---

4. <https://www.plan-deperissement-vigne.fr/>



**Source :** Plan National Dépérissement du Vignoble

FIGURE 1.2 – Les 4 ambitions du Plan Dépérissement

Cette thèse rentre dans le cadre de deux projets (DECIDEP et COMPET). Le projet DECIDEP (Aide à la décision et dépérissement du vignoble : analyse technico-économique de l'impact des pratiques culturelles pour faire face au dépérissement) s'inscrit dans le cadre du PNDV qui l'a sélectionné en 2019 (2019-2023). Il s'agit d'un des premiers projets de cet appel d'offre portant une action de recherche forte en économie via la présente thèse. Il est financé par le Ministère chargé de l'agriculture (via le CASDAR), FranceAgriMer et le Comité National des Interprofessions des Vins à appellation d'origine et à indication géographique (CNIV). Le projet a pour ambition d'analyser l'impact technico-économique des pratiques culturelles pour limiter le dépérissement du vignoble dans les entreprises viti-vinicoles françaises, en considérant les multiples facteurs qui en sont responsables. Il analyse également les leviers socio-économiques de lutte contre les dépérissements (DECIDEP, 2019).

Le projet est structuré autour de 3 actions (Figure 1.3) et la thèse s'insère dans l'Action n 3.

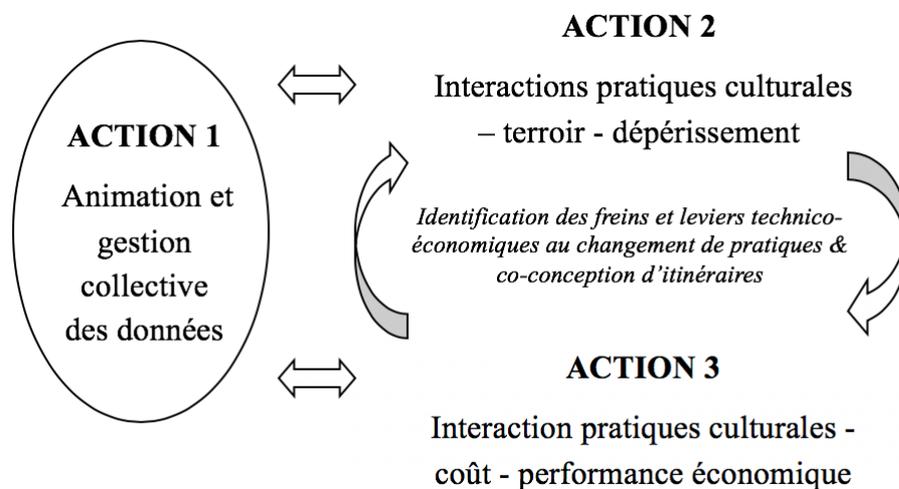


FIGURE 1.3 – Schéma des actions et de leurs interactions au sein du projet DECIDEP

Le projet Compétitivité et dépérissement du vignoble (COMPET) est financé par la Région Nouvelle-Aquitaine (2019-2023). Le projet COMPET a pour objectif d’apporter des connaissances sur les pratiques culturelles comme levier important pour limiter le dépérissement du vignoble en :

- Identifiant l’impact de certaines pratiques culturelles sur l’interaction entre la plante et la microflore pathogène responsable de nécroses dans le bois,
- Modélisant les effets économiques de l’adoption de ces mêmes pratiques pour faire face au dépérissement du vignoble.

Les connaissances ainsi produites permettront d’apporter des éléments de décision :

- D’une part aux viticulteurs afin de leur permettre de maintenir voire d’améliorer la compétitivité de leurs entreprises,
- D’autre part aux institutions représentant la filière ou aux pouvoirs publics afin qu’ils accompagnent au mieux les entreprises face au défi que représente le dépérissement du vignoble pour les années à venir.

Le projet COMPET combine donc des objectifs scientifiques, aussi bien qu’opérationnels. In fine, l’objectif de ce projet de recherche est de favoriser l’émergence de stratégies pertinentes pour faire face au dépérissement et à la baisse des rendements.

Ces deux projets ont permis de cofinancer l'allocation doctorale associée à la thèse qui s'est déroulée au sein des UMR Bordeaux Sciences Economiques (Université de Bordeaux) et INRAE Santé et agroécologie du vignoble, dans le cadre de l'Institut des Sciences de la Vigne et du Vin (ISVV).

## 1.5 Problématique et annonce du plan

La nature multifactorielle du dépérissement rend sa gestion complexe pour les entreprises agricoles en général et les entreprises viti-vinicoles en particulier. Il apparaît nécessaire pour le suivi de ces entreprises de trouver une bonne méthode d'adaptation à ces agressions biotiques et abiotiques qui sont à la fois risquées et incertaines. Le changement climatique d'une part, avec ses perturbations atmosphériques, ses périodes de sécheresse, de gel et de grêle et d'autre part, les agressions biotiques avec ses maladies du bois (agent pathogène, insectes, champignon) impactent négativement le rendement produit et la qualité des baies.

Le phénomène du dépérissement fragilise la compétitivité des entreprises viti-vinicoles qui le subissent à travers différentes dimensions qui structurent notre analyse et la thèse : la qualité du vin (compétitivité hors-prix), le prix du vin (compétitivité-prix), le coût de production et de l'investissement dans les pratiques de lutte (compétitivité-coût). La compétitivité hors-prix est relative à la qualité du vin produit qui est le facteur le plus important de la compétitivité hors-prix et qui est négativement impactée par le dépérissement. La compétitivité hors-prix correspond à la capacité des entreprises à imposer ses produits indépendamment de leur prix. Cette imposition se fait par le biais de la qualité ou de l'image de marque du produit de l'entreprise elle-même (Athanasoglou & Bardaka, 2010). À côté de cette compétitivité hors-prix, nous avons la compétitivité-prix, dans laquelle le prix de vente des produits joue un rôle prépondérant. La compétitivité-prix est la capacité pour l'entreprise à produire à des prix inférieurs à ceux des concurrents pour même une qualité (Junz & Rhomberg, 1973). Le prix de vente est généralement influencé par plusieurs facteurs macroéconomiques et est particulièrement la résultante de l'offre et de la demande sur le marché du vin. Sachant que le dépérissement peut

avoir un effet à la fois sur la demande et sur l'offre (baisse de rendements), nous posons la question de savoir quel est l'impact réel du dépérissement sur la formation du prix du vin et donc sur la compétitivité-prix des entreprises viticoles françaises. Nous cherchons également à comprendre par quel canal transitent ces effets sur la compétitivité-prix des entreprises. En effet, s'il est possible d'évaluer l'effet des variations de rendement dû au dépérissement sur la formation du prix du vin sur le marché, on pourra déterminer l'impact du dépérissement sur la compétitivité-prix des entreprises viticoles françaises. L'objectif était donc d'appréhender cet effet selon la nature du choc sur le rendement ou la récolte. Enfin, la compétitivité-coût compare les coûts globaux de production avec ceux des concurrents. Elle correspond à la capacité des entreprises à produire à des coûts moindres que ceux des concurrents (Porter, 1997). Elle impacte donc positivement la compétitivité-prix. Peu d'études dans la littérature se sont penchées sur la question de la compétitivité, encore moins en abordant ses différentes dimensions. L'étude du sujet représente un gap de la littérature qui mérite d'être comblé. C'est l'ambition de cette thèse qui présente un caractère appliqué important en regard des enjeux actuels de la filière étudiée. En effet, la compétitivité des entreprises viticoles n'est possible que par le maintien du potentiel de production de la vigne (vinopole, 2014). Il est primordial d'analyser tous les facteurs au niveau de l'exploitation (aléas climatiques, agressions biologiques, la maîtrise du rendement, la densité de plantation, choix du matériel végétal, etc.) et au niveau du marché (prix du vin, offre, demande, ect.), qui pourraient entraver ou fragiliser ce potentiel et de trouver des solutions pour minimiser leur effet sur la production (IREF, 2017).

La thèse est organisée autour de trois chapitres dont les deux premiers reposent sur des articles soumis ou en cours de révision.

L'analyse de l'effet des baisses de rendements de raisin sur la formation des prix du vin doit permettre aux entreprises viticoles de mieux choisir leur stratégie d'adaptation en optimisant leur compétitivité-prix. En effet, en fonction du sens d'évolution du prix de vin qui résulte de la variation des rendements, un viticulteur pourra mesurer les conséquences de l'adoption d'une nouvelle technique de production qui concerne la récolte sur le prix de vente final et donc sur sa compétitivité-prix. De plus, ayant connaissance de la grande atomie des produits sur le marché du vin, nous faisons l'hypothèse que les prix, selon la gamme de vin, pourraient ne

pas évoluer dans le même sens ou avec la même proportion. Il est donc important d'évaluer l'effet de ces baisses de rendement sur le prix selon la gamme de vin (entrée de gamme ou haut de gamme). Cet objectif est celui du chapitre 2 de la thèse qui évalue l'impact des baisses de rendement sur la formation des prix sur le marché français, précisément dans le cas de vins de la région de Bordeaux.

L'adaptation au phénomène de dépérissement passe par l'adoption de nouvelles pratiques culturales par les viticulteurs (PNDV, 2020). Mais ces changements sont parfois difficiles pour les viticulteurs qui ont besoin d'accompagnement et de plus d'informations sur ces nouvelles pratiques culturales, nécessitant ainsi une analyse microéconomique. La mise en place de ces nouvelles stratégies de gestion des vignobles représente des investissements coûteux que les viticulteurs doivent pouvoir rentabiliser, stratégies que nous analysons ici à travers l'exemple de la lutte contre l'Esca. La question de la rentabilité de l'adoption de ces pratiques se pose. Quel est l'impact économique de long terme des pratiques pour une exploitation ? Ainsi, il apparaît important d'analyser les coûts d'opportunité de ces investissements (adoption de nouvelles pratiques culturales) et leur potentiel pour la minimisation des pertes de rendement en assurant la rentabilité de l'entreprise. Cette question fait appel à trois disciplines : l'épidémiologie, pour l'évolution des maladies du bois (ici l'Esca) ; l'agronomie pour la mesure de l'impact sur le rendement de raisin produit, et l'économie pour l'évaluation de la rentabilité de ces pratiques culturales et la détermination du coût d'opportunité pour le viticulteur. Les études comme celles de Kaplan et al. (2016), de Baumgartner et al. (2019) et de Hillis et al. (2017) analysent l'impact économique des pratiques culturales pour lutter contre les maladies du bois de la vigne. Cependant, ces études ont plutôt analysé les pratiques préventives, c'est-à-dire des pratiques avant expressions de la maladie sur les parcelles viticoles et dans le cas des vignobles américains. On constate dans la littérature un réel gap des études sur les pratiques curatives et dans le secteur viticole français. Ainsi, dans le but de réduire ce gap et de répondre aux besoins des viticulteurs, le chapitre 3 de la thèse aura pour objectif d'analyser la gestion économique du dépérissement causé par les maladies du bois en l'occurrence l'Esca l'une des plus virulentes, par les exploitations viticoles.

La première partie du chapitre consiste à évaluer l'impact économique des pratiques curatives sur une parcelle de vigne dépérissante en l'absence de données d'expérimentation et dans la mesure où ces pratiques sont encore assez peu diffusées dans les vignobles. La première partie du chapitre souligne les scénarios dans lesquels la mise en place d'une pratique curative sera profitable ou non pour le viticulteur. La seconde partie analyse la prise de décision en situation de risque et d'incertitude des viticulteurs. La question à laquelle nous tenterons de répondre est de savoir quel est l'effet du comportement face au risque du viticulteur sur sa décision d'adoption des pratiques ? L'enjeu de cette analyse est d'identifier l'impact du comportement face au risque des viticulteurs dans leur prise de décision, dans le cas particulier de vins et spiritueux d'appellations de la Région Nouvelle-Aquitaine.

Un autre des enjeux de la gestion du dépérissement de la vigne est la méconnaissance du phénomène par les viticulteurs. En effet, pour décider d'investir dans les pratiques de lutte contre le dépérissement, les viticulteurs doivent faire un bon diagnostic de l'état de dépérissement ou de la sensibilité de leur exploitation et de leurs parcelles à ce phénomène. Il est pourtant difficile pour les viticulteurs de percevoir les causes et les effets du dépérissement sur leur environnement socio-économique et technique. La connaissance des facteurs socio-économiques les plus discriminants pour le statut dépérissant ou non d'une exploitation pourrait améliorer la perception des viticulteurs et leur permettre de faire de bons diagnostics. Ainsi, la question à laquelle le chapitre 4 tentera de répondre est : quel est le lien entre le contexte socio-économique et technique des entreprises viticoles et le dépérissement ? Il s'agira d'étudier les différents facteurs socio-économiques et techniques qui pourraient plus ou moins exposer une exploitation au dépérissement ou, au contraire, ceux qui permettraient aux exploitations de minimiser leur risque de dépérissement. Ce travail est mené sur des bases de données d'enquêtes nationales coordonnées par le PNDV.

Dans la suite de cette thèse, le chapitre 2 analyse l'impact des baisses de rendement sur la formation des prix du vin (article soumis). Le chapitre 3 est consacré à l'analyse de l'impact des pratiques sur la rentabilité des exploitations (article en révision) et au processus de décision des viticulteurs pour adopter de nouvelles pratiques et faire face au dépérissement (article soumis).

Le chapitre 4 analyse les facteurs socio-économiques et technique du dépérissement. Enfin, le chapitre 5 présente la conclusion générale de la thèse avec les implications.

---

# Impact des baisses de rendement sur la formation des prix du vin

## Introduction du chapitre

Le marché du vin, tout comme les marchés de produits de base industriels et agricoles, est influencé par différents facteurs macroéconomiques. [Cevik et Sedik \(2014\)](#) montrent que les prix des grands vins sont sensibles aux chocs macroéconomiques, tout comme les prix du pétrole brut et des autres matières premières. Par exemple, les crises financières de 2008 ont eu un impact négatif sur les prix du vin avec une baisse estimée à 42 % des prix des vins fins ([Cevik & Sedik, 2014](#)). Cet effet a transité par la baisse de la demande mondiale de vin. La récession mondiale induite par la crise sanitaire du Covid-19 a également eu des effets dévastateurs sur le marché mondial du vin ([Cardebat et al., 2020](#) ; [Wittwer & Anderson, 2021](#) ; [Marco-Lajara et al., 2021](#) ; [Bentivoglio et al., 2022](#) ; [Synák, 2023](#)).

À ces impacts macroéconomiques négatifs s'ajoutent d'autres facteurs relatifs au dépérissement du vignoble présenté en introduction générale, comme le dérèglement climatique (facteur abiotique) ou les maladies du bois (facteur biotique). Ce phénomène de dépérissement a un effet négatif direct sur la production du secteur dans la mesure où il provoque des baisses de rendement qui peuvent être importantes. Par exemple, les périodes de sécheresse, de gel et de

grêle de 2021 ont été une illustration récente de l'effet de ce phénomène sur la production. Une baisse de production de 14 % par rapport à la moyenne de la production de 2015-2020 a été observée, ainsi qu'une baisse de 19 % par rapport à la production de 2020 (OIV, 2022). Et même si la production de 2022 a augmenté de 21% par rapport à celle de 2021 et de 7% par rapport à la moyenne quinquennale 2018-2019 (OIV, 2023), les effets du dépérissement sur la production sont bien présents et l'impact de ce dernier sur la formation des prix ne doit pas être négligé.

La France est particulièrement touchée par ce phénomène. Le pays est pourtant l'un des principaux maillons du secteur viticole mondial. Deuxième pays producteur de vin en volume au monde, avec une production estimée à 45,6 millions d'hectolitres (mhl) en 2022, elle reste également, en 2022, le premier exportateur mondial en valeur, avec 12,0 millions d'hectolitres. Avec un volume d'importations estimé à 6,1 millions d'hectolitres, la France est le premier pays importateur de l'Union européenne (OIV, 2023), le plus grand pays consommateur de vin en Europe et le deuxième au monde. Toutes ces statistiques montrent la place prépondérante de la France sur le marché viticole mondial. Ainsi, les chocs négatifs sur le secteur viticole français impacteraient la compétitivité-prix de ce secteur.

Le prix est également un déterminant très important de la compétitivité d'une entreprise. D'un côté, de nombreuses études ont étudié les déterminants de la formation du prix du vin sur le marché (Fogarty, 2010a; Fuller & Alston, 2012; Cardebat & Figuet, 2019; Outreville & Le Fur, 2020; Bargain et al., 2023). De l'autre, les études sur l'impact du dépérissement se sont plus focalisées sur le rendement et la qualité du vin en sciences dures (Cholet et al., 2021; Lecomte et al., 2022) que sur ses implications sur la formation du prix du vin et son effet sur la formation des prix a été jusque là plutôt négligé. L'objectif de ce chapitre est d'évaluer l'élasticité-prix des baisses de rendements de raisin en volume. Cette analyse doit permettre de mieux appréhender l'effet des politiques mises en place pour minimiser l'impact du dépérissement sur les rendements sur la formation des prix du vin, que aussi bien à l'échelle nationale qu'à l'échelle d'une exploitation viticole.

Dans ce chapitre, nous proposons un article centré sur une analyse de l'impact des baisses de rendements de raisin sur la formation du prix de vins français. Notre analyse est réalisée sur un échantillon de 7 appellations viticoles de la région de Bordeaux sur la période 1983 à 2015. L'élasticité est modélisée par le biais d'un modèle de déplacement d'équilibre et estimée par un

modèle de panel à effet fixe. Les résultats montrent qu'une baisse de la récolte de raisin induit une hausse du prix du vin avec une élasticité estimée à 0,201%. L'utilisation d'une fonction de réponse impulsionnelle nous a permis d'évaluer la persistance de l'effet dans le temps. On trouve que l'effet de la récolte sur le prix reste significatif sur une période de 3 ans (année du choc comprise). Pour prendre en compte l'hétérogénéité des gammes de vin, nous effectuons un clustering basé sur une logique géographique et sur une logique de marché. Les résultats montrent que les vins d'entrée de gamme sont plus élastiques à la variation de la récolte que les vins haut de gamme dont l'élasticité n'est pas significative sur l'échantillon considéré.

Enfin, ces résultats révèlent, d'une part, que les pertes de rendement de raisin peuvent constituer pour les entreprises viticoles françaises une perte de compétitivité-prix comparativement aux concurrents étrangers. D'autre part, ils montrent qu'une hausse de la récolte de raisin, qui pourrait résulter par exemple de la mise en place d'une politique de lutte contre le dépérissement, induirait une baisse du prix du vin français (gain de compétitivité-prix). Ce pourrait être le cas d'une politique incitant à l'adoption de pratiques culturales permettant de lutter contre le dépérissement ([PNDV, 2016](#) ; [Winetwork, 2018, 2021](#) ; [PNDV, 2020](#)).

Ce chapitre repose entièrement sur un article intitulé "Impact of grape yields decline on wine price formation", soumis dans *Journal of Agricultural and Resource Economics* et présenté ci-après. Une conclusion du chapitre souligne les implications de cette étude.

---

# Impact of grape yields decline on wine price formation

Submitted to the *Journal of Agricultural and Resource Economics*

## Abstract

Declines in grape yields have been observed over the past decade, affecting the entire wine industry. This article has analysed the impact of grape yield reductions due to biotic (wood diseases) and abiotic (weather disturbances) aggressions on wine price formation. The study is carried out on a panel of 7 French PDOs from the Bordeaux region over the period 1983 to 2015. To evaluate the effect of this variation on the price of wine, we use an equilibrium displacement model to model the elasticity. The econometric estimation of this elasticity is carried out through a fixed effect panel model to capture the heterogeneity of each PDO. First, the results obtained show that a 1% decrease in the volume of the harvest leads to a 0.201% increase in the price of wine. Clustering also revealed the effect of wine ranges. The estimates show a higher elasticity for entry-level wines such as red and rosé Bordeaux, white Bordeaux and Entre-Deux-Mers. The elasticity is lower for the higher end wines such as Médoc, Haut-Médoc, Sauternes-Barsac, Saint-Émilion Grand Cru. Entry-level wines are more elastic to variations in yields than high-end wines. This study highlights the fact that policies to address yield reductions must take into account the fact that the yield increase that will result from the positive shock of the new technique may also lead to a price decrease. An analysis of the opportunity costs of policies to control yield reductions is necessary to avoid substantial losses to winegrowers.

**Keywords** : Climate change, Equilibrium displacement model ; Elasticity ; Grape yield ; Panel model ; Supply and demand ; Wine price

**JEL Classifications** : C33 ; D5 ; L16 ; Q11 ; Q13

## 2.1 Introduction

World wine production is below its ten-year average for the third consecutive year (OIV, 2023). There has also been a downward trend in yields for several years (Cardebat, 2017), so called vine decline. It is mainly due to biotic and abiotic factors that lead to yield and quality losses (Alston et al., 2013; Baumgartner et al., 2019; Hillis et al., 2017), foremost among which is climate change (Fogarty, 2010a; Livat et al., 2019). Moreover, the unpredictable and uncertain nature of these changes makes them difficult to control (Van Leeuwen et al., 2013; Ollat et al., 2016; Van Leeuwen & Destrac-Irvine, 2017). For example, in 2021, in France, production was strongly affected by the bad weather conditions. There was a 14% drop in production compared to the 2015-2020 average production and a 19% drop compared to the 2020 production (OIV, 2022).

The decrease in vineyard productivity is quite often addressed in the agronomic and oenological literature (Grosman & Doublet, 2012; Quéré et al., 2015; Fontaine et al., 2016; Cholet et al., 2021; Lecomte et al., 2022), but ultimately very rarely from an economic perspective even if the lack of supply can be reflected in prices. These yield reductions have indeed an impact on the availability of wines on the markets in a context where exports are increasing, and therefore maintain a paradox around the lack of production despite an increasing demand on the international markets. For example, the value of wine exports has increased by 10.3% in 2022, when production volumes decreased by 6.6% on average and clearly for wines without mention of origin and grape variety (Federation of Exporters of wines and spirits, 2023). The climatic events of the last few years finally confirm the general trend highlighting the yield issue on the wine market.

The department of Gironde, which includes the wine region of Bordeaux, one of the most famous in the world, is considered the first wine department in France with an estimated surface area of 115,223 hectares in 2019. It represents 15% of the national production in volume (Agreste, 2020). It is also the second largest wine-producing department in France in terms of value, with an estimated production of 2.1 billion euros in 2018 (Agreste, 2020). The Bordeaux wine region, with an estimated area of more than 110,800 hectares of vines in 2019, represents the leading wine region in Gironde (CIVB, 2019).

This wine region is also affected by vine decline. It has been particularly affected by adverse weather conditions in the long-run as well as in recent years with periods of drought in 2002 and 2009, hail in 2013 and frost in 2017 (Agreste, 2020). The negative impact of these meteorological phenomena on the harvest has led to a lack of availability of supply and this lack has tended to create inflationary pressure on price and to generate price increases (Agreste, 2020).

Beyond these examples of climatic shocks, the article more generally explores the impact of the trend decline in yields on wine price formation. Several studies in the literature analyze the relationship between price and demand for other agricultural outputs (P. R. Johnson et al., 1971; Eales & Unnevehr, 1994; Fuller & Alston, 2012; Fogarty, 2010a; Chevet et al., 2011). The objective of these analyses is mostly to analyze the price elasticity of demand for agricultural products. Among the various models developed in the literature for calculating elasticities, the equilibrium displacement model is considered as the theoretical foundation for supply and demand analysis. This model allows for easy analysis of the impact of all variables that could influence the equilibrium such as price (Davis & Espinoza, 1998). The equilibrium displacement model has been used in different areas of agricultural economics (X. Zhao et al., 2000; Mounter et al., 2008; Fuller & Alston, 2012). Different methods are used to obtain a structural elasticity that derives from the development of the equilibrium displacement model, such as arbitrary assumptions, coming from other studies, or estimation methods (Davis & Espinoza, 1998). Meanwhile, the methods developed for elasticity estimation are based on empirical models such as the almost ideal demand system (Deaton & Muellbauer, 1980), the developed almost ideal inverse demand system (Eales & Unnevehr, 1994), and the Rotterdam model (Barnett, 1979).

Fogarty (2010a) highlights the different methods used in the literature to estimate elasticities in the beer, wine, and spirits sectors thanks to a meta-regression analysis. He shows that the discrepancy in results on the estimation of the elasticity of demand for alcoholic beverages is mainly due to factors such as the estimation method, the frequency of the data and the study period. Fuller et Alston (2012) previously used a flexible-form demand system model to determine the elasticity of demand for table/wine grapes from three California wine regions carrying out both synthetic and econometric estimates. They show it is possible to get basic estimates of demand elasticities without econometric estimation, but underline the sensitivity of the results to the assumptions underlying the synthetic estimates, which makes them conditional

and uncertain.

Different methods are used for the determination or prediction of wine prices according to different changes on the market. One method used in the literature to explain wine price variations is the hedonic pricing method (Costanigro et al., 2007, 2011; Le Fur & Outreville, 2019; Outreville & Le Fur, 2020). We note, however, that the hedonic pricing method is more appropriate for explaining the prices of fine wines than for mid-range wines (Saunier, 2000; Ashenfelter, 2008; Brentari et al., 2015; Outreville & Le Fur, 2020). Then, it is also possible to use methods coming from storage models which have good predictive power, but require fairly extensive databases of information on the various supply and demand aggregates and non-structural methods, which use prices from previous years for contemporary price prediction (Yeo, Fletcher, & Shawe-Taylor, 2015; Bazen & Cardebat, 2018, 2022). However, the limitation of these methods is the lack of control variables and the predictive power which is robust over the short term and less so over the long term (Cardebat, 2017). The prediction of wine prices can therefore often be complex due to the various factors that influence wine production and that are often uncertain, for example, meteorological disruption (Chevet et al., 2011; Ashenfelter & Storchmann, 2016). Determining the effect of these factors could probably lead to a better prediction.

This paper analyzes the link between yield variation and wine price formation in the case of bulk wine for the Bordeaux wine region. We wonder about the impact of this variation in supply, all things being equal, on the formation of wine prices on the market. We use an equilibrium displacement model and an ordinary least squares estimation method with individual protected denominations of origin (PDOs) fixed effects to estimate the elasticity. The results show a decrease of 1% in the volume of the harvest leads to an increase of 0.201% in the price of wine. To check the robustness of the effect of yield decreases on the price over time, we use a local impulse model that reveals a persistent and significant negative effect of the harvest on the formation of the wine price over 3 years. To evaluate the heterogeneity of the effect, we perform two clustering. First on a geographical logic and then on a market logic based on the average price of each PDO. The estimates show that the prices of entry-level wines such as Bordeaux red and rosé, Bordeaux white and Entre-Deux-Mers are more elastic to harvest variations than those of mid-range and high-end wines such as Médoc, Haut-Médoc, Sauternes-Barsac and

Saint-Émilion Grand Cru.

This study also suggests also that an analysis of the opportunity costs of policies against yield reductions is necessary to avoid substantial losses for winegrowers. The present model could therefore be used in the future to evaluate the impact of measures aimed at limiting these yield reductions.

The article is organized as follows. Section 2.2 is devoted to the presentation of the data and stylized facts. Section 2.3 is devoted to the development of the theoretical and empirical model used in the study. Section 2.4 presents the results of the different estimations and their interpretations. Section 2.5 present heterogeneity analyses. Finally, the conclusion and possible recommendations are developed in section 2.6.

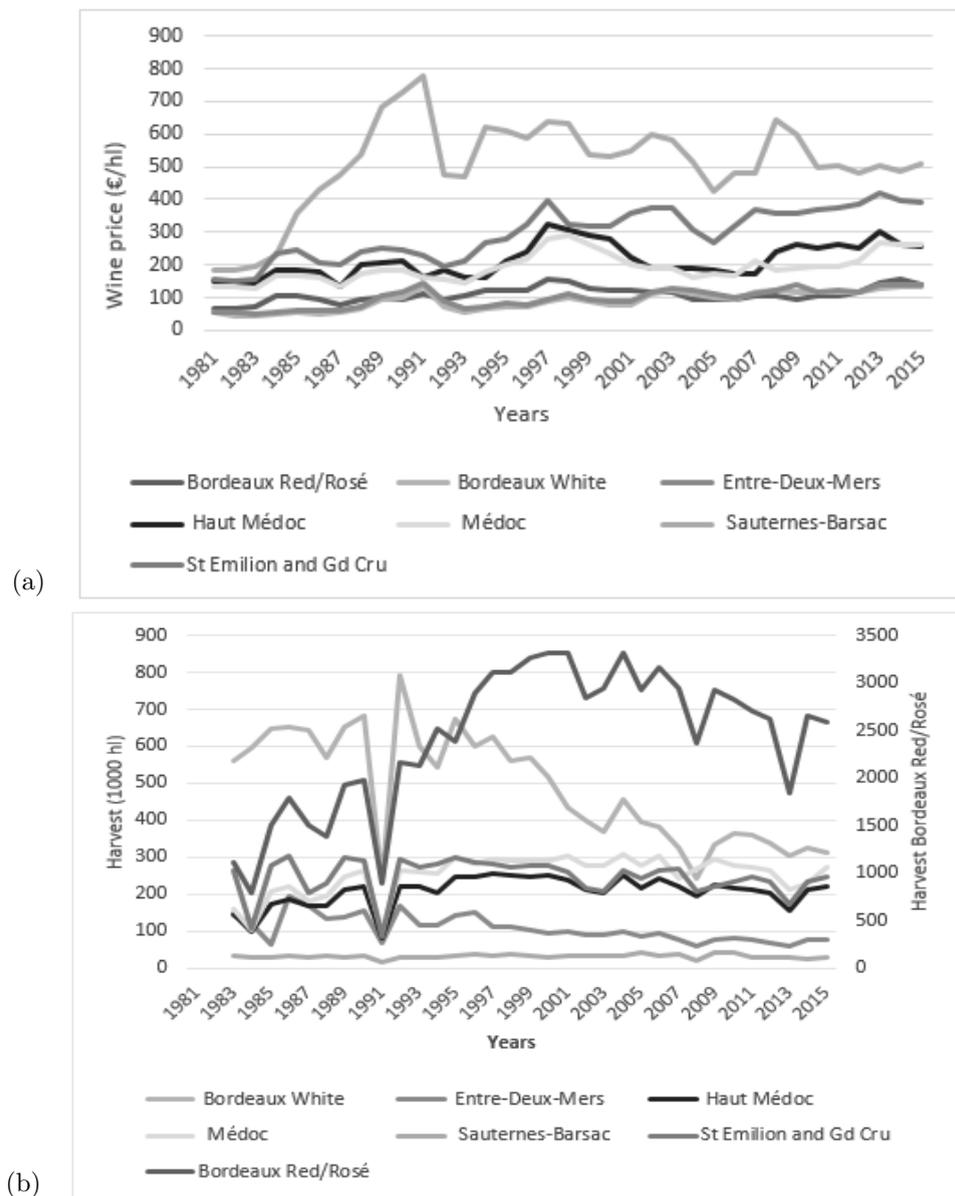
## 2.2 Data and stylized facts

The data cover 7 French PDOs in the Bordeaux wine region. PDOs are regulated by specific rules and specifications concerning the vine density in the plots, the maximum authorized vine missing rate and the maximum authorized yield (per hectare and per year). The period covers 32 years from 1983 to 2015. Data come from several data sources, namely (i) the FranceAgriMer database for the average campaign price in Euros/hl for bulk wine, the harvested volume of grapes, the wine stock and the wine availability in 1000 Hl; (ii) the Global Wine Markets database for the real Gross Domestic Product (GDP), the annual wine production of the different wine competitor countries in Kiloliter (Italy, Spain, Argentina, United States, England, Belgium, China, Germany, South Africa, Australia, Chile) and the Euro/dollar exchange rate.

The dependent variable is captured by average bulk wine prices. This choice of bulk data, although motivated by the issue of the availability of bottled wine price indicators, allows to homogenize wine products in some way. Indeed, the use of bulk data helps to minimize the bias that could be due to the great atomicity of products on the wine market. For the yield variable, which is the variable of interest, we use the volume of grapes harvested as a proxy. The choice of this variable is justified a little further down in the development of the theoretical model.

For choosing control variables, we rely on studies in agricultural economics. Thus, to take into account the potential bias of omitted variables, we use the growth of France's GDP (positive

effect), the growth of the GDP of the rest of the world, which is obtained by averaging the GDPs of France's competitors (negative effect), the Euro/dollar exchange rate (positive effect) and the price of foreign wine (negative effect). The definitions and sources of the variables are summarized in Appendix in Table 2.6, summary statistics are presented in Table 2.7, while the correlation matrix is presented in 2.8. We include the different names of the different ranges of wine to take into account the heterogeneity in price and volume produced (Figure 2.1).

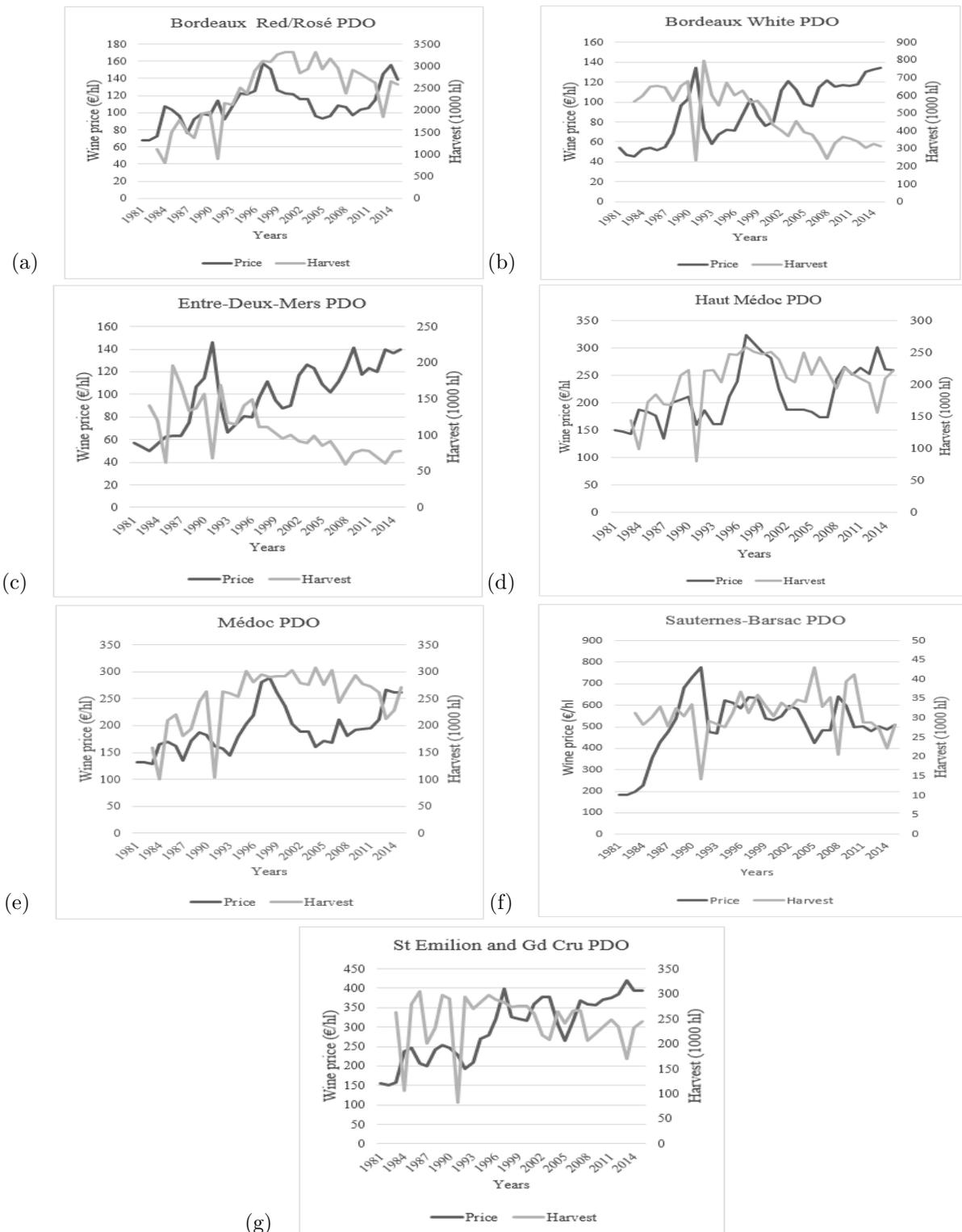


Source : FranceAgriMer (1981 to 2015)

FIGURE 2.1 – Evolution of the wine prices (a) and harvest (b) by appellation .

---

The figures [2.2a](#) to [2.2g](#) below highlight the relationship between wine prices and grape harvest volumes for the 7 PDOs of the sample. The figure shows that the evolution of the price and the harvest over the period from 1981 to 2015 is different for each PDO. The general shape has a sawtooth shape (Figure [2.2](#)).



Source : FranceAgriMer (1981 to 2015)

FIGURE 2.2 – (a) Simultaneous evolution of wine prices and grape harvest.

## 2.3 Methodology

### 2.3.1 Theoretical model : Equilibrium displacement model

We use an equilibrium displacement model from agricultural economics (Davis & Espinoza, 1998; X. Zhao et al., 2000; Mounter et al., 2008; Fuller & Alston, 2012). This model allows for the study of various economic questions about international trade, interdependent markets, or imperfect competition. This model makes it possible to control for the effect of many of the factors involved in the market by specifying the form of the link between them. Equilibrium shift models are based on four main assumptions (Piggott, Piggott, & Wright, 1995). First, the elasticity between supply and demand is assumed to be known and constant. Second, the production technique and the supply and demand elasticities of the exogenous variables are known and constant (Harrington & Dubman, 2008). These different hypotheses give strength to the model and facilitate the analysis of the relationship between price and quantity. We consider two types of wine in the market : French wine and foreign wine. The foreign wine is represented by the production of the first competitors of French wines. The equilibrium on the supply and demand of wine is represented according to equations 2.1.

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_d = D(P, Z) : Demand \\ Q_s = D(P, W) : Supply \\ Q_d = Q_s : Equilibrium \end{array} \right. \quad (2.1)$$

with  $P$  the price of wine,  $Z$  the demand shift vector and  $W$  the supply shift vector. The supply and demand shift vectors include all the variables that can vary the equilibrium.

The objective of the study is to determine the new equilibrium that results from the negative supply shock generated by the vine decline through yield reductions. To do so, we determine the changes in price and quantity produced due to the shift of the equilibrium point. The differential form of the system obtained with the logarithmic function is represented by the equation 2.2.

$$\begin{cases} \Delta Q_d = \Delta P^* + \Delta Z^* : Demand \\ \Delta Q_s = \Delta P^* + \Delta W^* : Supply \\ Q_d = Q_s : Equilibrium \end{cases} \quad (2.2)$$

$P^* = \frac{dP}{P} = d\ln P$ ;  $Z^* = \frac{dZ}{d\ln P} = d\ln P$  and  $W^* = \frac{dW}{W} = d\ln W$  represent the percentage change in  $P$ ,  $Z$ , and  $W$  respectively. The parameters  $\psi_d$  and  $\psi_s$  are the own-elasticities of demand and supply;  $\psi_Z$  and  $\psi_w$  are the structural elasticities associated with  $Z^*$  and  $W^*$ . The equilibrium condition in the market gives the price and quantity equation as a function of elasticity.

$$\begin{aligned} \psi_d P^* + \psi_Z Z^* &= \psi_s P^* + \psi_w W^* \\ \psi_d P^* - \psi_s P^* &= \psi_w W^* - \psi_Z Z^* \\ P^*(\psi_d - \psi_s) &= \psi_w W^* - \psi_Z Z^* \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$P^* = \frac{\psi_w W^* - \psi_Z Z^*}{\psi_d - \psi_s} \quad (2.4)$$

Equation 2.4 in 2.2 gives  $Q^* = \psi_s \left( \frac{\psi_w W^* - \psi_Z Z^*}{\psi_d - \psi_s} \right) + \psi_w W^*$

$$\begin{aligned} Q^* &= \psi_s \left( \frac{\psi_w W^* - \psi_Z Z^*}{\psi_d - \psi_s} \right) + \psi_w W^* \\ Q^* &= \frac{\psi_s \psi_w W^* - \psi_s \psi_Z Z^* + \psi_w W^*}{\psi_d - \psi_s} \\ Q^* &= \frac{\psi_s \psi_w W^* - \psi_s \psi_Z Z^*}{\psi_d - \psi_s} \end{aligned} \quad (2.5)$$

We obtain the reduced form of the system with the equilibrium price  $P^*$  and the following equilibrium quantity  $Q^*$  in accordance with studies such as [Alston, Carter, Green, et Pick \(1990\)](#); [Green et Alston \(1990\)](#); [Davis et Espinoza \(1998\)](#) and [Fuller et Alston \(2012\)](#) (Equation

2.6).

$$\begin{cases} P^* = \varepsilon_{Pw}W^* - \varepsilon_{PZ}Z^* \\ Q^* = \varepsilon_{Qw}W^* - \varepsilon_{QZ}Z^* \end{cases} \quad (2.6)$$

with  $\varepsilon$  representing the general equilibrium elasticity that takes into account shocks to the endogenous variables in the model (Davis & Espinoza, 1998).

To determine the changes in quantities and prices, we first determine the structural elasticities  $\psi_Z$  and  $\psi_w$ . The supply on the wine market is represented by the availability of wine. Availability is the sum of the current year's harvest and the previous year's wine stock.

$$Availability_t = Harvest_t + Storage_{t-1} \quad (2.7)$$

$$Harvest_t = Yield_t * surface \quad (2.8)$$

$$Storage_{t-1} = \alpha_0 - P_{t-1} + Exp(P)_t - (Storage\_cost)_{(t-1)} \quad (2.9)$$

Equations 2.8 and 2.9 in 2.7 gives equation 2.10.

$$Availability_t = Harvest_t + Storage_{t-1} + \alpha_0 - P_{t-1} + Exp(P)_t - Storage\_cost_{(t-1)} \quad (2.10)$$

with  $E(Prix)_t$  is the anticipated wine price in  $t$ .

Under the hypothesis of perfect rationality and rational anticipation, we consider that firms, on average, do not make mistakes and the price expectation is equal to the price (Equation 2.11).

$$E(Price)_t = Price_t \quad (2.11)$$

$$Availability_t = Harvest_t + Storage_{(t-1)} + \alpha_0 - P_{(t-1)} + P_t - Storage\_cost_{(t-1)}$$

### 2.3.2 Empirical model

Having determined, from the structural equilibrium displacement model, the reduced form of the equation 2.6. We will now turn to the identification of the determinants of the wine market that could influence the price.

The wine market's supply and demand, like most markets in the economy, is influenced by several macroeconomic variables (Cevik & Sedik, 2014). Determinants such as the exchange rate, gross domestic product (GDP) and foreign supply and demand influence the French wine market (Cardebat & Figuet, 2019). These variables are essential for gravity models that study international wine trade (Bargain et al., 2023).

First, concerning the exchange rate, Cardebat et Figuet (2019) showed that its variation significantly impacted French wine exports. Indeed, the variation of the exchange rate which results from an appreciation or a depreciation of the national currency against a currency has a direct effect on the international selling prices of goods and thus on the volume of exports. On the one hand, an increase in the domestic exchange rate, which means an appreciation of the euro against the dollar, would lead to an increased French wine's average price compared to the foreign competitor and therefore a decrease in its price-competitiveness (potential decrease in export volume). On the other hand, a decrease in the exchange rate (depreciation of the euro against the dollar) would lead to a decreased French average wine price in foreign countries and therefore an increased volume of exports, all other things being equal. The exchange rate is therefore a determinant of price-competitiveness (Dornbusch, 1990).

$$Real\ Exchange\ Rate = Nominal\ Exchange\ Rate \times \frac{P^{Foreign}}{P^{French}} \quad (2.12)$$

Secondly, with regard to GDP, the effect on wine prices would be mediated by the domestic demand for wine. Indeed, an increased French GDP per capita would lead to an increased household income and potentially an increased local consumer demand for wine. And, if this

increased demand is not followed by an increased supply, it could lead to an increased wine price in the short term which will be favourable to domestic producers. On the other hand, a decreased consumer income would lead to a decreased demand and therefore a decrease in the wine price. In addition, the . In addition, the GDP of the main countries importing French wines can be considered as a proxy for foreign demand for French wine in the case of vertically differentiated trade (Deardorff, 1984; Bergstrand, 1990; Durkin Jr & Krygier, 2000).

Finally, with regard to foreign production, the effect on French wine prices could be transmitted through demand. Indeed, a variation in foreign production would lead to an impact on world supply and therefore on competitiveness in the wine market. The adjustment of local prices would make it possible to preserve its price-competitiveness (Cevik & Sedik, 2014; Bargain et al., 2023). This variable is considered a proxy for the foreign price

The integration of the wine market determinants developed below into equation 2.6 results in equation 2.14.

$$P^* = \varepsilon_{PH} Harvest^* + \varepsilon_{PS} Storage_{t-1}^* + \varepsilon_{PC} Storage\_cost_{t-1}^* - \varepsilon_{PG} GDP^* - \varepsilon_{PE} Exchange^* - \varepsilon_{PF} Foreign\_Price^* \quad (2.13)$$

$$dlnP^* = \varepsilon_{PH} dlnHarvest^* + \varepsilon_{PS} dlnStorage_{t-1}^* + \varepsilon_{PC} dlnStorage\_cost_{t-1}^* - \varepsilon_{PG} dlnGDP^* - \varepsilon_{PE} dlnExchange^* - \varepsilon_{PF} dlnForeign\_Price^* \quad (2.14)$$

The variables *Harvest*, *Storage*, *Storage\_cost* represent elements of the *W* vector that influence the supply of wine. *GDP*, Exchange rate and *Foreign\_Price* represent elements of the *Z* vector that influence more the demand for wine in the market.

Knowing that the data are discrete annual observations, we replace the continuous differentials in equation 2.14 with their discrete equivalents. Moving from the theoretical model to the empirical estimate, we incorporate an error term  $\sigma$  into our main equation 2.14 to obtain equation 2.15 .

$$\begin{aligned} \Delta \ln P_t = & \varepsilon_1 \Delta \ln Harvest_t + \varepsilon_2 \Delta \ln Storage_{t-1}^* + \varepsilon_3 \Delta \ln Storage\_cost_{t-1}^* - \\ & \varepsilon_4 \Delta \ln GDP_t - \varepsilon_5 \Delta \ln Exchange_t - \varepsilon_6 \Delta \ln Foreign\_Price_t + \sigma \end{aligned} \quad (2.15)$$

where  $\Delta$  is the first-difference operator.

### 2.3.3 Econometric estimation : Fixed effects model

For the estimation of the model, we use the ordinary least squares method. The fixed-effects panel model is chosen to take into account the individual unobserved heterogeneity of the different appellations that make up our sample. The idea is that there could be unobserved factors  $\phi_i$  specific to each appellation that influence both the treatment variable, which is grape yield, and the dependent variable, which is wine price. As its name indicates, in this model, the individual characteristics are fixed and the differences between individuals are deterministic.

$$\begin{aligned} \ln P_{it} = & \alpha_0 + \varepsilon_1 \ln Harvest_{it} + \varepsilon_2 \ln Storage_{it-1} + \varepsilon_3 \ln Storage\_cost_{t-1} - \\ & \varepsilon_4 \ln GDP_{it} - \varepsilon_5 \ln Exchange_{it} - \varepsilon_6 \ln Foreign\_Price + \varepsilon_7 \ln GDP_{RDMit} + \varphi_i + \sigma_{it} \end{aligned} \quad (2.16)$$

The parameters can be estimated in two ways, by applying the Frisch-Waugh theorem or by introducing a dummy variable in the model. The latter procedure is used in our analysis. We have a dummy variable  $d_i$  per name which takes the value 1 for name  $j$  and the value 0 otherwise. This is called a dummy variable model (LSDV). In the following analysis we assume a constant storage cost.

$$\begin{aligned} \ln P_{it} = & \alpha_0 + \varepsilon_1 \ln Harvest_{it} + \varepsilon_2 \ln Storage_{it-1} - \varepsilon_3 \ln GDP_{it} - \\ & \varepsilon_4 \ln Exchange_{it} - \varepsilon_5 \ln Foreign\_Price + \varepsilon_6 \ln GDP_{RDMit} + \sum_{j=1}^7 \delta_j d_j + \sigma_{it} \end{aligned} \quad (2.17)$$

## 2.4 Results

### 2.4.1 Benchmark model

The results of the fixed effect model regression are presented in Table 2.1. They reveal a negative effect of the volume of grapes harvested on the wine price. A 1% decrease of the harvest in  $t$  would lead to a 0.201% increase in the wine price, all other things being equal. When we look at the effect of the harvest in  $t - 1$ , the estimates show a increase in the wine price of 0.087%. These results are consistent with economic theory on the relationship between the supply and price of a good, with demand remaining constant. Indeed, grapes are the most important raw material in wine making. Volume of grapes harvested in  $t$  represents the supply of wine available on the market if we assume a stock of wine in  $t - 1$  equal to zero. Thus, if the supply of wine increases and demand remains constant, wine prices fall to facilitate the flow of production and maintain the price-competitiveness of wine companies with respect to the rest of the world.

However, the wine market is a hyper-differentiated market with products ranging from normal goods to luxury goods. The effect of the harvest on price depending on the range of wine can therefore be different. The analysis of the impact of individual muettes by PDO allows us to take this reality into account. We note a positive and significant effect on the price for high-end wines such as those from the Sauternes-Barsac and Saint-Émilion Grand Cru PDOs, and a positive but insignificant effect for Haut-Médoc wines. On the other hand, for wines of rather low range such as white Bordeaux and Entre-Deux-Mers, we obtain a negative and significant effect on the wine price. For Médoc wines, we also have a negative but not significant effect. The dummy variable for the Bordeaux PDO was set to zero to avoid redundancy, and the interpretation of the different parameters is done in comparison to the red and rosé Bordeaux PDOs.

The control variables also have effects on prices that corroborate economic theory. First, we find a positive impact of France's GDP on the wine price. A 1% increase in GDP would lead to a 2.515% increase in the wine price. Indeed, an increased GDP reflects an increase in household income, which could lead to an increase in consumer demand. And as in agriculture in general and in perennial crops such as vineyards in particular, supply is difficult to adjust, this increase

in demand will create an inflationary effect on wine prices. Hence the positive effect obtained.

Concerning the GDP of the rest of the world, we find a negative and non-significant effect on the French wine price. As explained above, this variable represents a proxy for the foreign wine demand. It was obtained by summing real GDP of importing-countries with France in wine production such as the United States, England, Belgium, China, Germany, Japan and Netherlands. Thus, the non-significance of the effect is due to the fact that our dependent variable concerns the prices of French bulk wine which is mainly destined to be sold in French supermarkets. This production is therefore more sensitive to French demand than to foreign demand.

Secondly, the estimates reveal a positive and significant impact of the Euro/dollar exchange rate on the price of these wines. A 1% increase in the Euro/dollar exchange rate, i.e., a 1% depreciation of the Euro against the dollar, results in a 0.199% increase in the price of the wines. It's a classic result that transits through a demand effect (Cardebat & Figuet, 2019). Indeed, the depreciation of the local currency will generate a strong foreign demand for French wines because of the low export price. This increase in exported volume will create a decrease in domestic supply, hence the increase in local prices (in euro). There is also margin behaviour of the actors, who take advantage of the depreciation of the currency to reconstitute their margin through an increase in the export price in euro (Markup theory). This goes unnoticed by the foreign consumer since his currency has appreciated.

Finally, there is a negative effect of foreign wine production in the seven leading wine producing countries in the world (Italy, Spain, United States, Australia, Chile, South Africa and Argentina) on the price of these wines. A 1% increase in foreign wine production leads to a 0.373% decrease in the wine price. This variable is used as a proxy for the price of foreign wine. Indeed, if foreign production increases, it means that the world wine supply will increase and therefore the competitiveness on the wine market would become tougher. Thus, to ensure a good price-competitiveness, all other things being equal, wine firms might have to lower their wine prices, hence the negative effect (Table 2.1).

TABLE 2.1 – Effect of the harvest on wine prices (LSDV)

	(1)	(2)
	Log Price	Log Price
Log Harvest	-0.201*** (0.040)	-0.164*** (0.043)
Log Harvest(-1)		-0.087** (0.043)
Log GDP_fr	2.515*** (0.807)	3.019*** (0.805)
Log GDP_ROW	-0.210 (0.322)	-0.465 (0.324)
Log Exchange_rates(€/€)	0.199*** (0.036)	0.199*** (0.036)
Log Foreign_production	-0.373** (0.170)	-0.279 (0.176)
Bordeaux Red/Rosé	Ref (.)	Ref (.)
Bordeaux white	-0.538*** (0.077)	-0.612*** (0.089)
Entre-Deux-Mers	-0.753*** (0.132)	-0.905*** (0.158)
Haut Medoc	0.164 (0.106)	0.041 (0.126)
Medoc	0.107 (0.099)	-0.006 (0.117)
Sauternes-Barsac	0.663*** (0.177)	0.463** (0.214)
Saint-Emilion Grand Cru	0.534*** (0.100)	0.425*** (0.118)
Constant	-17.741*** (5.539)	-19.656*** (5.464)
$R^2$	0.932	0.934
Observations	231	224

Standard errors in parentheses \*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$

### 2.4.2 Robustness : Local projection analysis

We use a local impulse model that was proposed by [Jordà \(2005\)](#) to evaluate the long-run impact of yield declines on wine prices. The model highlights the dynamic effect of the harvest on the wine price over a given time horizon (three years in our case). This method has the advantage of capturing, in addition to the direct effects, the indirect effects of the harvest on the wine price. The central idea is to estimate local projections at different horizons rather than making estimates from a model based on a single distant horizon (autoregressive variable

model). One of the particularities is the independence of the forecast errors at each time period. This differs from the VAR model in which the error terms are linked. The model also has a greater robustness to misspecification.

$$\Delta Price_{(i,t+h)} = \alpha_{\eta} \sum_{\eta=0}^{\Gamma} \Delta Price_{i,t-\eta} + \beta_1 Harvest_{i,t} + \gamma_{\eta} \sum_{\eta=1}^{\Gamma} Harvest_{i,t-\eta} + \theta_{\eta} \eta X_{it} + \varepsilon_{i,t} \quad (2.18)$$

where  $h$  represents the time horizon ;  $\Delta Price_{(i,t+h)} = Price_{(i,t+h)} - Price_{(i,t-1)}$  ;  $X_{it}$  is the vector of control variables, and  $\eta$  denotes the lag number.  $\beta_h$  is the estimated response of the wine price in each period  $t + h$  that results from the harvest produced at date  $t$ . The results of this impulse response function confirm a persistently negative and significant effect of harvest on wine price formation over 3 years (Figure 2.3). Table 2.2 also shows a significant effect of harvest on the

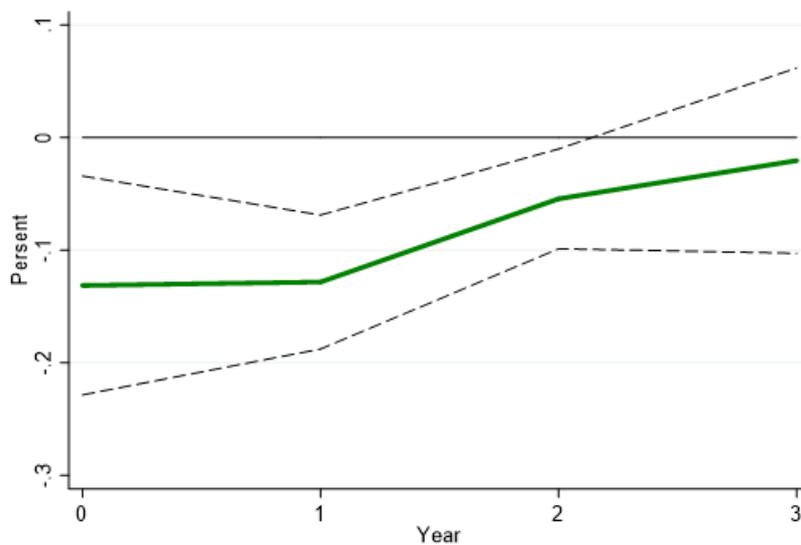


FIGURE 2.3 – Local projection of harvest effect on wine price (LSDV model)

price up to 2 years after the shock. We also note that from 2 years onward the effect diminishes.

TABLE 2.2 – Local projection of harvest effect on wine prices (LSDV)

	Log Price (year 0)	Log Price (year 1)	Log Price (year 2)	Log Price (year 3)
Change in short term harvest	-0.13*** (0.03)	-0.13*** (0.05)	-0.05* (0.02)	-0.02 (0.06)
Bordeaux_Red/Rosé	Ref (.)	Ref (.)	Ref (.)	Ref (.)
Bordeaux _white	0.01 (0.04)	0.03 (0.06)	0.05 (0.07)	0.07 (0.07)
Entre-Deux-Mers	0.01 (0.04)	0.02 (0.06)	0.04 (0.07)	0.06 (0.07)
Haut-Médoc	-0.00 (0.04)	-0.00 (0.06)	0.00 (0.07)	0.01 (0.07)
Médoc	0.00 (0.04)	0.00 (0.06)	0.01 (0.07)	0.01 (0.07)
Sauternes-Barsac	0.01 (0.04)	0.02 (0.06)	0.02 (0.07)	0.02 (0.07)
Saint-Emilion Grand Cru	0.00 (0.04)	0.01 (0.06)	0.02 (0.07)	0.03 (0.07)
Constant	0.02 (0.03)	0.04 (0.04)	0.05 (0.05)	0.05 (0.05)
R2	0.079	0.039	0.010	0.010
Observations	224	217	210	203

Standard errors in parentheses \*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$

## 2.5 Heterogeneity

### 2.5.1 Analysis by Wine Ranges

In this section, we isolate the effect of harvest on wine price separately from wine ranges. To do so, we construct new variables using dummies by PDO. First of all, based on the geographical classification of the interprofessional council of Bordeaux wine (CIVB) of the appellations according to wine ranges, we split our sample into three groups (Viniphile, 2023). The entry-level with the appellations of red, rosé and white Bordeaux; the mid-range with the appellations of Entre-Deux-Mers, Médoc and Haut-Médoc; the high-end with the appellations of Sauternes-Barsac and Saint-Emilion Grand Cru. Then, we create dummy variables for these three groups of wine range and we multiply each dummy variable by the logarithm of the volume of the grape harvest. These variables allow to obtain a different coefficient for each group of PDOs. The idea is to evaluate the evolution of the elasticity according to the different ranges. Indeed, in the benchmark model we only have an average effect, so this analysis will make it possible to isolate the effect of the harvest on the price according to the geographical logic of classification. Finally,

we re-estimate the model by introducing the three new variables in place of the harvest variable in accordance with the equation 2.19.

$$\begin{aligned} \ln P_{it} = & \alpha_0 + \delta_1 Dum_{Low} \times \ln Harvest_{it} + \delta_2 Dum_{Medium} \times \ln Harvest_{it} \\ & + \delta_3 Dum_{High} \times \ln Harvest_{it} + \varepsilon_2 \ln Storage_{it-1} - \varepsilon_3 \ln GDP_{it} - \varepsilon_4 \ln Exchange_{it} - \\ & \varepsilon_5 \ln Foreign\_Price + \varepsilon_6 \ln GDP_{RDMit} + \sum_{j=1}^7 \delta_j d_j + \sigma_{it} \end{aligned} \quad (2.19)$$

with  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  and  $\delta_3$  the parameters of the entry-level wines, the mid-range wines and the high-end wine effects respectively.  $Dum_{Low}$  is the dummy for the entry-level group,  $Dum_{Medium}$  is the dummy for the mid-range and  $Dum_{High}$  is the dummy for the high-end. The results obtained are presented in Table 2.3. Firstly, we find a negative and significant effect at 1% for entry-level PDOs with an elasticity of 0.292. Then, with the mid-range PDOs, we also find a negative but significant effect at 5%, with an elasticity of 0.143. Finally, we find a negative but non-significant effect with the high-end PDOs.

The results obtained corroborate those of the benchmark model with a negative elasticity between price and harvest. Also, the higher magnitude of the effect obtained with the entry-level PDOs and the non-significance of the coefficients for the high-end PDOs reveals that the average effect obtained in the benchmark model was more driven by the entry-level. However, according to the literature, the classification based on a geographical logic is not the best way to group PDOs according to their range (Livat et al., 2019). For example, the classification of Entre-Deux-Mers PDO in the mid-range category is questionable. In the following analysis, we will therefore make a new estimation with a classification based on a market logic, i.e. according to wine prices.

### 2.5.2 Analysis by Price Range

In this section, we perform a new classification based on a market logic through the wine price range. For this purpose, we use a k-means clustering (Kodinariya et al., 2013) based on the average of the prices of each PDO over our study period. This clustering allows us to

TABLE 2.3 – Analysis with variable integration dummies PDO \*Log Harvest

	Log Price
Dum_Low*Harvest	-0.292*** (0.061)
Dum_Medium*Harvest	-0.143** (0.062)
Dum_High*Harvest	-0.128 (0.089)
Log GDP_fr	2.505*** (0.804)
Log GDP_ROW	-0.205 (0.321)
Log Exchange_rates(€/€)	0.199*** (0.036)
Log Foreign_production	-0.376** (0.169)
Dummies per PDOs	
Bordeaux Red/Rosé	REF (.)
Bordeaux White	-0.683*** (0.107)
Entre-Deux-Mers	-1.727*** (0.552)
Haut-Médoc	-0.850 (0.575)
Médoc	-0.918 (0.582)
Sauternes-Barsac	-0.291 (0.564)
Saint-Emilion Grand Cru	-0.570 (0.679)
Constant	-16.950*** (5.532)
R <sup>2</sup>	0.933
Observations	231

Standard errors in parentheses \*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$

randomly group the different PDO on the basis of price variable. The clustering reveals 3 groups as presented in the table 2.4.

TABLE 2.4 – Summary of statistics per PDO of price clustering (k-means)

PDOs	Mean	Sd	Max	Min	Clusters	Price range
Bordeaux Red/Rosé	110	22.67713	157.3267	67.53461	1	
Bordeaux White	91	28.60627	134.307	45.27715	1	Entry-level
Entre-Deux-Mers	99	28.74248	145.893	50.00305	1	
Haut Médoc	213	51.9129	322.7331	134.1545	2	
Médoc	193	43.46558	288.1273	128.5139	2	Mid-rang
St Emilion and Gd Cru	297	78.91201	418.7778	151.0763	2	
Sauternes-Barsac	506	141.5359	777.334	184.1576	3	High-end

The summary statistics of the three clusters are presented in the appendix (Table 2.9). Then, as in the previous analysis, we create dummies for each price cluster. Three new variables are created by multiplying the harvest variable by the different dummies created. Finally, we run a new regression in which we insert the new variables while maintaining our control variables. The aim is to show the difference in elasticity by price category or range.

$$\begin{aligned}
\ln P_{it} = & \alpha_0 + \rho_1 \text{Low\_price} \times \ln \text{Harvest}_{it} + \rho_2 \text{Medium\_price} \times \ln \text{Harvest}_{it} + \\
& \rho_3 \text{High\_price} \times \ln \text{Harvest}_{it} - \varepsilon_4 \ln \text{GDP}_{it} - \varepsilon_5 \ln \text{Exchange}_{it} - \\
& \varepsilon_6 \ln \text{Foreign\_Price}_{it} + \varepsilon_7 \ln \text{GDP}_{RDMit} + \sum_{j=1}^7 \delta_j d_j + \sigma_{it}
\end{aligned} \tag{2.20}$$

The results, presented in Table 2.5, show us that the magnitude and significance of the effect of harvest variations on wine prices vary according to the price range. First, for entry-level PDOs (Low price), we note that a 1% decrease in the volume harvested leads to a significant increase of 0.282% in the price of the wine. Secondly, for the mid-range (Medium price) and high-end PDOs (High price), we note that a decrease of the harvest leads to an increase in the price but with a non-significant effect. Thus, we show that the high-end and mid-range appellations are less elastic to the variation of the harvest than the mid-range appellations. These results also

show that the significant effect of mid-range with the appellation classification by geographical logic was more guided by the presence of the Entre-Deux-Mers PDO in this category. This confirms that the market logic classification is more robust (Florine, Alston, & Cardebat, 2018; Livat et al., 2019).

TABLE 2.5 – Analysis with variable integration dummies price \* Log Harvest

	Log Price
Low_price*Harvest	-0.282*** (0.052)
Medium_price*Harvest	-0.055 (0.068)
High_price*Harvest	-0.233 (0.149)
Log GDP_fr	2.477*** (0.798)
Log GDP_ROW	-0.216 (0.318)
Log Exchange_rates(€/€)	0.198*** (0.036)
Log Foreign_production	-0.350** (0.168)
Dummies per PDOs	
Bordeaux Red/Rosé	REF (.)
Bordeaux White	-0.667*** (0.092)
Entre-Deux-Mers	-1.005*** (0.166)
Haut Médoc	-1.233** (0.541)
Médoc	-1.318** (0.550)
Sauternes-Barsac	0.148 (0.652)
St Emilion and Gd Cru	-0.888 (0.549)
Constant	-16.795*** (5.487)
R <sup>2</sup>	0.934
Observations	231

## 2.6 Conclusion

This article has analyzed the impact of grape yield reductions due to vine decline on wine price formation. The study is carried out on a panel of 7 French PDOs from the Bordeaux region over the period 1983 to 2015. To evaluate the effect of this variation on the price of wine, we use an equilibrium displacement model to model the elasticity. The econometric estimation of this elasticity is carried out through a fixed effect panel model to capture the heterogeneity of each PDO.

First, the results obtained show that a 1% decrease in the volume of the harvest leads to a 0.201% increase in the price of wine. To analyse the persistence of this effect over time on the price, we use the local projection model of [Jordà \(2005\)](#) which reveals a persistent and significant negative effect of a negative harvest shock on the wine price over a 3-year period.

Then, knowing the large diversity of French wine ranges, we analyse in a second step the heterogeneity of the effect of the harvest on the price according to these different ranges. On the one hand, we isolate separately the effect of the harvest on the price according to three categories of clustered wine on the basis of a geographical logic. We obtain entry-level PDOs with red/rose Bordeaux and white Bordeaux, mid-range PDOs with Entre-deux-Mer, Médoc and Haut-Médoc and high-end PDOs with Sauternes-Barsac and Saint-Emilion Grand Cru. The results revealed a significant effect of harvest reductions on wine prices for entry-level and mid-range wines. In contrast, for the top of the range, we note a non-significant effect.

On the other hand, we perform a clustering by the k-means method on the average price of each PDO, this classification is based on a market logic. The clustering gives us three different wine ranges from those obtained with the geographical logic : entry-level wines with Bordeaux red/rose, white Bordeaux and Entre-Deux-Mers, mid-range wines with Médoc, Haut-Médoc and Saint-Émilien Grand Cru and high-end wines with only Sauternes-Barsac. The estimates show a more important and significant effect of the fall in the harvest on wine prices for entry-level wines. In contrast, for the middle and top of the range wines, we note non-significant effects. These results show that Entry-level wines are more elastic to yield variations than high-end wines.

This study shows us two important elements in the management of the problem of vine

decline for this industry. On the one hand, if we focus exclusively on the price-competitiveness of wine firms, we can note that yield decreases can constitute a loss of competitiveness for wine firms because of the price increase that they can generate, especially for entry-level wines. On the other hand, it is shown that, faced with a negative shock on yield, if the winegrower wants to manage and adopt new practices in the vineyard (e.g. adoption of a new technique) to limit this decline, he must take into account the fact that the increase in yield that will result from the positive shock of the new technique may also induce a drop in prices. This is especially true for entry-level wines whose prices are more elastic. This is clearly illustrated by the representation of the equilibrium shift model (see Appendix, Figure 2.4). This study therefore suggests that an analysis of the opportunity costs of policies to face yield reductions is necessary to avoid substantial losses for winegrowers. Indeed, in this context of adapting farmers to multiple changes in the sector, it appears necessary to carry out a robust economic analysis before any investment.

The wine market is a highly elastic market with a large atomicity of products. It is therefore necessary to be wary of second-round effects when implementing each policy. The present model could therefore be used in the future to evaluate the impact of measures aimed at limiting these yield reductions in the wine industry.

## Appendix

TABLE 2.6 – Definition and sources of the variables

Variables	Definitions	Units	Sources
Price	Average campaign price (Bulk price)	€ /Hl	FranceAgriMer (Source : D.G.D.D.I.et C.I)
Harvest	Appellation harvest	1000 Hl	FranceAgriMer (Source : D.G.D.D.I.)
Storage	Stocks of the appellations	1000 Hl	FranceAgriMer (Source : D.G.D.D.I.)
Availability	Availability of the appellations	1000 Hl	FranceAgriMer (Source : D.G.D.D.I.)
Area	Evolution of the area in Gironde	HA	CIVB
GDP_ French	Gross domestic product (GDP), real at 1990 prices	\$million	Global Wine Markets, 1835 to 2018
GDP_US	Gross domestic product (GDP), real at 1990 prices	\$million	Global Wine Markets, 1835 to 2018
GDP_UK	Gross domestic product (GDP), real at 1990 prices	\$million	Global Wine Markets, 1835 to 2018
GDP_China	Gross domestic product (GDP), real at 1990 prices	\$million	Global Wine Markets, 1835 to 2018
GDP_Germany	Gross domestic product (GDP), real at 1990 prices	\$million	Global Wine Markets, 1835 to 2018
GDP_Japan	Gross domestic product (GDP), real at 1990 prices	\$million	Global Wine Markets, 1835 to 2018
GDP_Netherlands	Gross domestic product (GDP), real at 1990 prices	\$million	Global Wine Markets, 1835 to 2018
GDP_Belgium	Gross domestic product (GDP),		WDI
GDP_ROW	GDP rest of the world	\$million	Sum GDP of 7 main countries importing French wines
Demand	Global demand for French wines	KL	Global Wine Markets, 1835 to 2018
Area_ha	Area of all wines	1000 ha	FranceAgriMer (Source : D.G.D.D.I.)
Yield_grap	Grape yields	kg/ha	FAO
Foreign_produc	Sum of the production of competing countries	KL	Global Wine Markets, 1835 to 2018
Exchange_rates	Nominal exchange rate	LCU per US\$	Global Wine Markets, 1835 to 2018

TABLE 2.7 – Descriptive statistics

Variables	Mean	Sd	Min	Max	Count
Price	215.4612	153.5178	45.27715	777.334	245
Harvest	534.7189	830.2407	14.198	3320.626	231
Storage	570.6051	772.0152	22.04689	3643.949	231
GDP_fr	1169786	211284.1	822116	1487073	245
GDP_ROW	2.46e+11	9.64e+10	9.69e+10	4.10e+11	245
Comp_production	1.52e+07	1236742	1.32e+07	1.76e+07	245
Exchange rates(€/ \$)	3.743892	2.798808	.6810659	8.98	245
<i>N</i>	245				

TABLE 2.8 – Correlation matrix

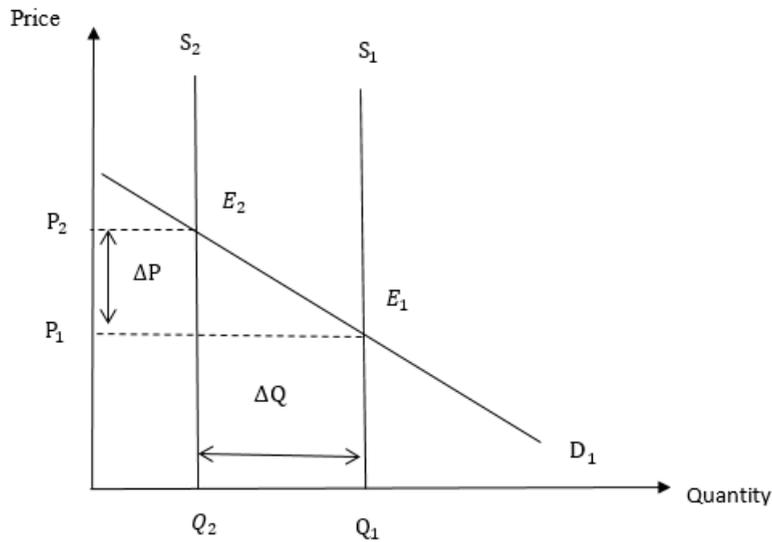
Variables	Price	Harvest	Storage	GDP_fr	GDP_ROW	Comp_production	Exchange rates (€/€)
Price	1						
Harvest	-0.349***	1					
Storage	-0.259***	0.910***	1				
GDP_fr	0.215***	0.0674	0.174**	1			
GDP_ROW	0.207**	0.0569	0.164*	0.989***	1		
Comp_production	-0.109	-0.0286	0.0232	0.0467	0.0930	1	
Exchange rates(€/€)	-0.162*	-0.0650	-0.184**	-0.926***	-0.901***	-0.147*	1

TABLE 2.9 – Summary for variables wine price by categories of wine range

Cluster	Freq	Percent	Cum.
1	105	42.86	42.86
2	105	42.86	85.71
3	35	14.29	100.00
Total	245	100.00	

Cluster	Mean	sd	Max	Min
1	99.58674	27.68381	157.3267	45.27715
2	234.3468	74.63287	418.7778	128.5139
3	506.428	141.5359	777.334	184.1576
Total	215.4612	153.5178	777.334	45.27715



Source : Author

FIGURE 2.4 – Representation of the wine market.

The graph above shows the shift of the equilibrium in the wine market. The curve  $D_1$  represents the demand for wine on the market ; the curve  $S_1$  represents the supply of wine on the market. Point  $E_1$  represents the equilibrium in the wine market. Following a negative shock on the supply (decrease in yield), all things being equal (constant demand), the curve will shift  $S_1$  to the left. The displacement of the curve brings us to a new equilibrium  $E_2$ , thus leading to an increase in the price  $\Delta P$  as a function of  $\Delta Q$ .

## Conclusion du chapitre

Ce chapitre nous a permis de mettre en exergue les effets des variations de rendement sur la formation du prix du vin dans le cas particulier des vins de la région de Bordeaux (France). Comme stipulées dans l'article, deux implications majeures ressortent de cette analyse. Premièrement, on note un effet négatif sur la compétitivité-prix qui est induit par la baisse des rendements de raisin à travers une hausse du prix du vin. Deuxièmement, on note que les politiques visant à minimiser les pertes de rendement et à accroître le rendement doivent tenir compte des implications sur le prix pour mieux évaluer la rentabilité de ces politiques.

L'article souligne l'importance de prendre en compte, dans la mise en place des politiques visant à soutenir les volumes de production (à travers la promotion et l'adoption de pratiques culturelles, de nouvelles techniques de production, etc.), le fait que l'augmentation du rendement qui résulte du choc positif de la nouvelle technique peut également induire une baisse des prix. Ceci est particulièrement vrai pour les vins d'entrée de gamme dont les prix sont plus élastiques. Le marché du vin étant un marché très élastique avec une grande atomisation de produits, il est important de se méfier des effets de second tour lors de la mise en œuvre d'une politique.

Ce chapitre suggère donc qu'une analyse des coûts d'opportunité des techniques de production ou des pratiques culturelles visant à lutter contre les pertes de rendement causées par le dépérissement de la vigne s'avère nécessaire. En effet, dans un contexte d'adaptation des agriculteurs aux multiples changements du secteur (Van Leeuwen & Destrac-Irvine, 2017) qui nécessite des investissements coûteux, il est important d'évaluer l'impact d'un changement de pratiques sur la compétitivité-coût des entreprises viticoles (minimisation des coûts de production).

Ainsi, dans le chapitre suivant de la thèse, nous analysons l'impact économique des pratiques curatives de lutte contre un facteur particulier du dépérissement de la vigne, une maladie du bois de la vigne appelée Esca. Nous analysons également le comportement face au risque du viticulteur comme déterminant de sa prise de décision dans l'adoption de ces pratiques.

---

## Impact économique des pratiques curatives et modélisation de la décision

### Introduction du chapitre

Le dépérissement du vignoble est dû à différents facteurs : les agressions biologiques (facteurs abiotiques), les stress environnementaux (facteurs biotiques), les pratiques culturales et l'environnement socio-technique de l'exploitation (PNDV, 2020). Parmi ces facteurs, les agressions biologiques ont été très étudiées, et notamment l'un des principaux facteurs du dépérissement du vignoble que sont les maladies du bois de la vigne (MDB) (Santos et al., 2006 ; Bruez et al., 2013 ; Lecomte et al., 2014 ; Kaplan et al., 2016 ; Hillis et al., 2017 ; Baumgartner et al., 2019 ; Doublet & Grosman, 2018 ; Kenfaoui et al., 2022). En France, les trois MDB considérées comme les plus dommageables sont l'Esca, le Black Dead Arm (BDA) et l'Eutypiose, et sont dues à des cortèges de champignons pathogènes (Bruez et al., 2013). Depuis 2003, ces maladies sont étudiées par l'Observatoire National des Maladies du Bois de la vigne sur un échantillon de sept régions viticoles françaises. Les résultats ont montré que la maladie de l'Eutypiose n'affecte réellement qu'une seule région viticole en France, la Charente, en raison de la forte sensibilité du cépage dominant de la région qui est l'Ugni Blanc (Doublet & Grosman, 2018). La prévalence annuelle de cette maladie, c'est-à-dire le pourcentage de vignes exprimant des symptômes, a

chuté de 25% à 4% au cours des 15 dernières années. En revanche, le syndrome Esca/BDA, qui regroupe sous le même nom les maladies Esca et BDA, est présent dans toutes les régions viticoles françaises et est en augmentation depuis les années 2000. En effet, depuis 2003, la prévalence de ce syndrome a notamment augmenté dans les vignobles d'Alsace (+6,4 % en 15 ans), de Charente (+4,2 % en 15 ans), de Bourgogne (+1,5 % en 15 ans) et du Bordelais (+1,2 % en 15 ans) (Bruez et al., 2013 ; Doublet & Grosman, 2018). La maladie de l'Esca est reconnue comme l'une des maladies les plus destructrices de la vigne dans le monde (Santos et al., 2006 ; Kenfaoui et al., 2022 ; Dewasme, Mary, Darrietort, Roby, & Gambetta, 2022). La particularité de cette maladie réside dans l'expression irrégulière et incertaine des symptômes qui rend sa gestion particulièrement difficile pour les viticulteurs. Des différences sont également notées dans la sensibilité des différents cépages à la maladie et dans l'expression des symptômes. Il existe deux formes de la maladie, une forme apoplectique<sup>1</sup> et une forme lente<sup>2</sup> (Lecomte et al., 2014).

Pour contrôler l'expression des symptômes de l'Esca, les viticulteurs utilisaient l'arsénite de soude qui s'avérait être une méthode de lutte chimique particulièrement efficace contre les MDB. Cependant, en 2001, ce produit a été interdit en France et en Europe en raison de sa toxicité, ce qui a conduit à une recrudescence des MDB et à la recherche de méthodes alternatives pour la gestion de cette maladie (Mondello, Larignon, et al., 2018). En l'absence de méthodes chimiques, plusieurs études ont évalué l'utilisation de pratiques préventives (Gramaje et al., 2018 ; Baumgartner et al., 2019 ; Hillis et al., 2017 ; Gispert et al., 2020) et curatives (Thibault, 2015 ; De Montaignac, 2019 ; Cholet et al., 2021) pour la gestion des MDB au vignoble et ainsi freiner le développement des symptômes.

Concernant les pratiques préventives (i.e. réalisées avant que les premiers symptômes n'apparaissent), la taille précoce (Winetwork, 2018) ou l'utilisation de produits de protection des plaies après la taille<sup>3</sup> (Winetwork, 2018) ont été évaluées comme efficaces techniquement, particulièrement contre la maladie de l'Eutypiose (Gramaje et al., 2018 ; Baumgartner et al., 2019 ;

---

1. La forme apoplectique est caractérisée par une défoliation et une sécheresse très rapide du cep de l'ordre de 3 à 5 jours.

2. La forme lente est caractérisée par des tigrures et des décolorations jaunes pour les cépages blancs, une décoloration violette pour les cépages rouges, sur tout ou partie de la plante, et de manière très variable selon les années.

3. L'on badigeonne ou pulvérise des produits sur les plaies créées par la taille, et qui constituent des portes d'entrée pour les champignons pathogènes.

Hillis et al., 2017; Gispert et al., 2020). Concernant les pratiques curatives (i.e. mises en œuvre une fois que les premiers symptômes sont apparus et que la plante est infectée), le curetage et la complantation sont reconnues comme des stratégies techniques de lutte efficaces, particulièrement contre la maladie de l'Esca (Thibault, 2015; De Montaignac, 2019; Cholet et al., 2021), mais elles ont moins été étudiées du point de vue économique.

Le curetage (Winetwork, 2021), une pratique culturale connue de longue date, consiste à éliminer à l'aide d'une petite tronçonneuse les tissus du bois nécrosés (appelés aussi amadou) dans les troncs des vignes symptomatiques (cep par cep). Cette opération mime mécaniquement l'action de l'arsénite de soude, qui bloque l'expression des symptômes de l'Esca en limitant le développement des agents pathogènes présents dans les tissus du bois (Stef, 2017). La complantation (Clem, 2018) consiste à arracher les pieds morts et à les remplacer par de nouveaux plants au fur et à mesure qu'ils meurent dans une parcelle (Prigent, 2004). Elle entraîne une hétérogénéité de l'âge des ceps au sein d'une même parcelle et permet de limiter le taux de manquants improductifs. Les viticulteurs ont donc à leur disposition des méthodes de lutte qui diffèrent de la protection chimique. Pour choisir la stratégie à adopter pour leur vignoble et minimiser l'impact de l'Esca sur leur exploitation, ils manquent toutefois de recul et de données concernant l'impact technico-économique de ces pratiques dans les différentes régions et pour différents cépages. Le manque d'analyses économiques de la décision d'adoption de ces pratiques nouvelles pour eux ne leur permet pas toujours de prendre une décision optimale. De fait, l'adoption des pratiques curatives n'est encore qu'assez peu répandue (surtout pour le curetage) et leur déploiement nécessite un réel accompagnement pour les viticulteurs tant dans le choix des pratiques appropriées pour chaque exploitation, que dans l'optimisation de la rentabilité économique et de la minimisation du risque associé.

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer d'une part l'impact technico-économique de l'adoption de pratiques curatives pour lutter contre l'Esca dans une parcelle, et d'autre part d'analyser le processus de décision lié à l'adoption de ces pratiques.

Tout d'abord, bien que les pratiques préventives de lutte contre les MDB aient été un peu étudiées dans la littérature dans le cadre d'analyses économiques (Kaplan et al., 2016; Hillis et al., 2017; Baumgartner et al., 2019), il existe un réel gap en ce qui concerne l'impact technico-économique des pratiques curatives de lutte contre l'Esca, bien que celles-ci soient

mises en avant comme prometteuses. L'adoption de nouvelles pratiques engendre un coût pour les facteurs de production consommés au moment où la pratique est mise en oeuvre (année  $n$ ) et impacte ainsi la compétitivité-coût des exploitations (i.e. leur capacité à produire à des coûts acceptables pour assurer leur rentabilité). Toutefois, elles ont des effets dans le temps long. En effet, elles peuvent se traduire au départ par une perte accrue de rendement (par exemple pour la complantation lors de laquelle un nouveau cep entre à nouveau en production seulement 3 à 9 ans après la plantation selon l'entretien qui lui est apporté) et un bénéfice décalé dans le temps (cep redevenu asymptotique et capable de produire la totalité de sa contribution au rendement, et/ou allongement de la durée de vie du cep ou de la parcelle). Les éléments de rentabilité ne sont donc pas annuels et difficiles à appréhender pour les viticulteurs. Il apparaît ainsi nécessaire d'étudier en premier lieu la rentabilité de l'adoption des pratiques curatives de lutte contre la maladie de l'Esca dans le temps long (durée de vie d'une parcelle) pour éventuellement identifier les scénarios dans lesquels la mise en place d'une pratique curative est profitable pour le viticulteur. Cependant, peu de données sont disponibles pour ce faire, qu'il s'agisse de données épidémiologiques sur la maladie de l'Esca, ou de données d'expérimentation sur l'impact technico-économique des pratiques curatives pour évaluer le rapport coût-bénéfice de ces pratiques dans le temps long. C'est pourquoi nous développons un modèle de simulation bioéconomique comprenant à la fois un volet épidémiologique, un volet agronomique et un volet économique. Celui-ci s'appuie sur les références scientifiques disponibles en termes d'épidémiologie de l'Esca ([Guérin-Dubrana et al., 2013](#); [Li et al., 2017](#); [Guerin-Dubrana et al., 2019](#)), d'impact de la maladie et des pratiques curatives sur le rendement de la vigne ([Lecomte & Darrieutort, 2014](#); [Mondello, Larignon, et al., 2018](#); [Cholet et al., 2021](#); [Lecomte et al., 2022](#)), et partiellement sur les indicateurs économiques utilisés par [Kaplan et al. \(2016\)](#); [Hillis et al. \(2017\)](#) et [Baumgartner et al. \(2019\)](#) dans leur analyse économique des pratiques préventives de lutte contre l'Eutypiose. Le modèle bioéconomique ainsi produit a pour objectif d'obtenir une matrice de données permettant d'évaluer l'impact technico-économique des pratiques curatives sur une parcelle de vigne dépérissante.

Les viticulteurs ne sont toutefois pas sans ignorer l'impact négatif général que peut engendrer l'Esca sur leurs parcelles, tant au niveau du volume produit que de la qualité du vin ou de la longévité des parcelles. Cependant, il est difficile de prévoir avec certitude l'évolution de la

maladie sur une parcelle et de quantifier avec certitude les pertes possibles en rendement et donc en profit dans le temps long. La variabilité des symptômes et de l'impact sur les rendements dans le temps conjuguée au manque de connaissances sur l'épidémiologie de la maladie donne donc un caractère très incertain quant à la situation de dépérissement à laquelle un viticulteur va devoir faire face au cours de la vie d'une parcelle. Il lui est difficile d'évaluer la probabilité de survenance des pertes de rendement chaque année et d'anticiper. De ce fait, la décision de mettre en oeuvre des stratégies pour faire face à l'Esca présente elle aussi un caractère d'incertitude.

En économie, lorsqu'il n'est pas possible pour un agent de calculer objectivement la probabilité de réalisation d'un événement (par exemple ici, la non-atteinte du rendement autorisé) associé à une décision (par exemple ici, la mise en place d'une pratique curative), alors on se trouve en présence d'un risque subjectif, car il n'existe pas de base objective pour calculer ces probabilités. Ainsi, l'opportunité d'investissement dans une nouvelle pratique, qui peut être très coûteuse ou perçue comme telle, n'apparaît pas souvent comme une évidence, et la décision de mettre en place cette pratique devient une fonction de plusieurs analyses subjectives. Cette décision est impactée par la perception du risque du viticulteur et par son comportement face au risque. La décision d'adopter une pratique varie ainsi selon qu'il s'agit d'un viticulteur risquophile, risquophobe ou neutre au risque (Allais, 1953; Dillon, 1971). Aussi, face à plusieurs pratiques, le choix de la meilleure pratique peut varier en fonction du comportement face au risque du décideur. En effet, pour chaque comportement, la fonction d'utilité du viticulteur sera différente. Le viticulteur risquophile a un comportement optimiste. Il a tendance à espérer la réalisation du meilleur scénario et à favoriser les pratiques qui permettent d'obtenir le meilleur profit possible quelle que soit l'incertitude de celui-ci. Le viticulteur risquophobe a tendance à avoir un comportement plutôt pessimiste et à espérer le pire scénario possible. Il préfère choisir la pratique qui lui permette de minimiser le plus possible les pertes potentielles de sa décision. Le viticulteur neutre au risque n'est ni optimiste, ni pessimiste. Il choisira la pratique qui a la moyenne du profit le plus élevé selon les différents scénarios. En outre, l'efficacité de la pratique et la sévérité de la maladie sont des facteurs qui conditionnent et influencent la prise de décision des viticulteurs. En effet, ce sont ces facteurs qui constituent les différents scénarios étudiés par le viticulteur dans sa décision. Selon l'efficacité de la pratique (faible ou forte) et de la sévérité de la maladie (faible, moyenne ou élevée) le profit obtenu varie et la décision selon la préférence

pour le risque également.

Enfin, le coût d'une pratique est un facteur aussi considéré par les viticulteurs dans leur prise de décision en tant d'élément de gestion stratégique (Pailler & Corade, 2004). Il est donc important d'évaluer le coût total d'adoption d'une pratique par rapport au chiffre d'affaires potentiel pour identifier les situations de perte (analyse coût/bénéfice).

Tous ces facteurs entrent dans l'évaluation du coût d'opportunité de l'adoption de ces pratiques, ce qui permet de prendre la décision optimale qui maximise le profit de l'exploitation sous contrainte du rendement maximum d'appellation et de son comportement face au risque. Il s'agit donc dans un deuxième temps du chapitre d'analyser le processus de décision des viticulteurs en situation de risque concernant l'obtention des rendements attendus, combinée à une situation d'incertitude du fait de la maladie et du caractère pérenne de la vigne. En d'autres termes, il s'agit d'analyser l'opportunité de la décision d'un viticulteur d'adopter ou pas une pratique curative (complantation ou curetage) pour faire face à la maladie de l'Esca, et d'identifier l'impact du comportement face au risque des viticulteurs dans leur prise de décision.

Ce chapitre est constitué de deux articles soumis dans des revues à comité de lecture. Nous présentons dans une première partie l'impact économique des pratiques curatives sur une parcelle dépérissante à partir d'un modèle de simulation bioéconomique. Dans une seconde partie, nous présentons l'analyse économique de la prise de décision en présence d'un risque de rendement et d'incertitude concernant la maladie dans le cas de l'adoption de pratiques curatives pour lutter contre l'Esca. Enfin, la conclusion du chapitre souligne les résultats les plus importants à retirer de ces deux analyses.

# Economic impact of curative practices on a declining vine plot

Under review in the journal *OENO One*

## Abstract

Vine dieback leads to substantial yield losses and increased mortality in vineyards all over the wine world. In order to minimise the negative impact of this phenomenon on their farms, winegrowers are forced to adopt new curative practices. However, the lack of analysis on the economic profitability and opportunity cost of these practices makes their adoption difficult for these winegrowers. In order to help them judge the usefulness of implementing these curative practices, this article studies the long-term economic impact of investing in two curative practices (curettage and/or complantation) to combat one of the factors of vine dieback, Esca (associated to pathogenic fungi) is one of the main grapevine trunk diseases (GTD) affecting grapevine wood in France. For this, a bioeconomic model was developed to allow, through a Monte Carlo simulation method, to estimate and compare the net present value (NPV) of each practice. We study different scenarios in which the severity of Esca on the plot and the efficiency of the curative practices vary. The NPVs obtained in each scenario with the practices are compared with those obtained without the implementation of the practices. In order to capture the effect of the different regulations of the specifications and wine ranges, the simulation was carried out on 3 French PDOs (Entre-deux-Mer, Pauillac and Cognac). The results obtained showed that the implementation of these practices was more profitable the higher the severity of Esca at the plot level and the higher the efficiency of the practice. There was a higher effect for complantation in the lower severity scenarios and a higher effect for curettage in the higher severity scenarios. Finally, the results point to a higher profitability for the high-end PDO such as Pauillac.

**Keywords** : Vine dieback, Esca, Curative practices, profitability

## 3.1 Introduction

Grapevine decline leads to substantial yield losses and higher vine mortality in the vineyards (Merot et al., 2023). This decline results from multiple factors and among them, grapevine trunk diseases (GTDs) which represent a real challenge for all the grapevine regions in around the world. An increase in the incidence of GTDs over the last 10–15 years has been reported worldwide, in Europa (Fontaine et al., 2016; Guerin-Dubrana et al., 2019; OIV, 2016), in Europa and in France (Bruez et al., 2013). In 2012, 13.2% of French vineyards were declared unproductive (Grosman & Doublet, 2012; Quéré et al., 2015; Fontaine et al., 2016). GTDs resulted in 2015 in France in yield losses estimated at 4.6 hl/ha/year (FranceAgriMer CNIV BIPE, 2016). In 2015, it According to the president of FranceAgrimer's research and development committee, Xavier de Volontat, it has also been estimated that between 3 and 5 million hectoliters of wine and spirits are lost every year (Quéré et al., 2015), threatening France's status as the 2nd largest wine producing country in the world (OIV, 2022). Jourdes (2015) also showed a 5% drop of wine quality when vines express GTDs symptoms. Finally, GTDs have resulted in an economic loss of one billion euros for the French wine industry in 2012 (Said Bernard Nadal, former president of IFV). Esca (associated to pathogenic fungi.) is one of the main GTDs affecting grapevine wood in France, associated to pathogenic fungi. Because the high likelihood of infection and substantial yield losses from Esca, numerous studies were carried out during the last decade to identify the causal fungi and their interactions with the grapevine in order to develop disease management strategies (Bertsch et al., 2013; Gramaje et al., 2018; Mondello, Larignon, et al., 2018). Despite the threat this disease represents for vineyards, many winegrowers are waiting to adopt field-tested, preventative (delayed pruning, double pruning, and application of pruning-wound protectants) and curative (curettage and complantation) practices until after symptoms appear in the vineyard around age 8 to 11 years old. This reluctance probably comes from the uncertain nature and the long latency period of the disease. (Baumgartner et al., 2019) previously focused on preventative practices in California for table grapes and identify of economic barriers to early adoption of preventative practices. Gispert et al. (2020) evaluated the benefits of early pruning or using wood protectant after pruning. But to our knowledge, no papers are dealing with the technical and economic impact of curative practices. Curettage

and complantation are curative practices that may provide effective strategies to control GTDs (Mondello, Songy, et al., 2018). Curettage allows to manage Esca removing the woody parts of the arms and trunks expressing symptoms. It contributes to limit the development of pathogens and to block the expression of the symptoms on selected vines according to their age (10-25 years old) (Stef, 2017) and the expression of symptoms (Cholet et al., 2021 ; Lecomte et al., 2022). Before age 10 years old, the diameter of the trunk is too small to carry out curettage not damaging the live tissue and after age 25 years old, vines become too old to recover in good conditions (Lecomte et al., 2022). According to (Cholet et al., 2021), on average, 95% of the curretted vines return to regular yields until they express symptoms again. Alternatively, complantation involves replacing prematurely dead or diseased vines in the plot with young plants or complants (BIVB, 2017a ; Clem, 2018) between 10 and 30 years old (J. P. Roby, Van Leeuwen, & Marguerit, 2008). Complantation is usually used as soon as the percentage of dead vines in a plot is higher than 5% (Clem, 2018). The objective is to extend the plot lifespan and to improve yield and thus young and old plants cohabit in the same plot. In the French context where wines are mainly produced within the Protected Denomination of Origin system (PDOs), it is particularly relevant because the probability to reach the rate of missing plants authorized by the regulation is very high if not adopting such practices. The probability to reach the expected yield (maximum authorized) is on the contrary very low if the rate of young plants is high in a plot. The objective of our study was to better evaluate the technical and economic impact of adopting one curative practice (curettage and/or complantation) to control Esca in the vineyard. We developed a bioeconomic model using Monte Carlo simulations to estimate the economic impact of adopting one of these practices in the long-term. Our model compared the economic impact for different situations using a long-time simulation model (40 years i.e., the average life experience according to (J. P. Roby et al., 2008)). We estimated the net present value for both practices and we compared the results to the “normal” situation (no curative practice). To do this, we estimated the effect of adopting curettage and complantation practices on yield and profitability of a vineyard plot affected by Esca disease (for different severity levels). The model took into account the severity of the disease (low, medium and high), the cost of the practice and the effectiveness of the practice (low and high). In order to capture regional heterogeneity (density, prices, maximum authorized yield), we performed the analyses on three

different wine regions (PDOs) in the South West of France : Entre-deux-Mers, Pauillac and Cognac Cru Fins Bois. First, we run the simulations by leaving the cost of the practice and the selling price of the wine constant. Then we run the bioeconomic model using Monte Carlo simulations.

## 3.2 Materials and methods

To overcome the lack of data and experiments on such practices at large scale, we used a bioeconomic simulation model to generate data on yields and expected profits of the different practices over a vineyard lifespan. This model included a biological model calculating the yield of the plot each year depending on the evolution of the disease and on the practices implemented against Esca. It also included an economic model to calculate the annual and cumulative net profits. We run this model according to different scenarios taking into account the severity of the disease that can vary in the plot, the cost of the curative practices, the reputation level (price) of the wine region, the efficiency of the practice (low, high) and the PDO rules (especially the maximum authorized yield and the maximum percentage authorized of missing vines).

### 3.2.1 Biological model

#### 3.2.1.1 Esca epidemics

We simulated the evolution of the disease from the papers published by [Guérin-Dubrana et al. \(2013\)](#); [Li et al. \(2017\)](#) and [Lecomte et al. \(2022\)](#). In the model, the vines were defined according to their sanitary status : (AS) for the asymptomatic vines, (S) as soon as the vine express symptoms at once and (M) when they are dead. Each year, the sanitary status of a vine could evolve according to the percentages given in Table 3.1 ([Lecomte et al., 2022](#)). At each period (cultural year), a percentage of asymptomatic vines (AS) could express symptoms for the first time and could move into the pool of symptomatic vines (S) :  $\%AS \rightarrow S$ , a percentage of asymptomatic vines (AS) were affected by the apoplectic form and move into the pool of dead vines (M) :  $\%AS \rightarrow M$ , and finally, a percentage of vines that have already expressed symptoms (S) died (M) :  $\%S \rightarrow M$ . These percentages were different according to the severity

of the disease. Three levels of disease severity, "Low", "Medium" and "High", have been defined using data published by [Guérin-Dubrana et al. \(2013\)](#) and [Li et al. \(2017\)](#).

TABLE 3.1 – Epidemiological values selected for the simulation model

Epidemiology		
Annual severity of Esca/BDA in non-action vines		
Severity	Pools	Value
Low	%As to S	1%
	% As to M	0%
	% S to M	7%
Medium	%As to S	2.50%
	% As to M	0.50%
	% S to M	16%
High	%As to S	5%
	% As to M	1%
	% S to M	45%

Source : [Guérin-Dubrana et al. \(2013\)](#) ; [Li et al. \(2017\)](#)

### 3.2.1.2 Yield

The yield was calculated at the plot level following equations 3.1 and 3.2. Each PDO imposes a maximum yield per plot ( $Yield_{PDO}$ ) and a maximum percentage of missing vines per plot ( $T_m$ ). The aim of this PDO regulation is to prevent winegrowers from producing more than recommended per vine by compensating for the dead vines with others ones. The maximum yield authorized by the PDO corresponds to the target yield for the winegrowers.

When the percentage of missing vines on the plot was higher than the percentage of missing vines authorized by the PDO, the maximum authorized yield decreased according to equation 3.1. The calculation of the PDO yield if  $T_x > T_m$  was :

$$Yield_{PDO_t} = Yield_{PDO_t} - (Yield_{PDO_t} * T_x) \quad (3.1)$$

with  $T_m$  the maximum percentage of missing vines authorized by the PDO,  $T_x$  the percentage of missing vines. The winegrower could assign annual yield objectives for each plot (Target

yield). In the model, that target yield was either the  $yield_{PDO}$  either  $yield_{PDO_{new}}$  depending on the percentage of missing vines in the plot. That is why it was considered that each vine in a plot, supposedly healthy, contributed to the yield  $Ry$  in line with equation 3.2 (hl/ha/year).

$$\text{Contribution of a vine to the yield } (Ry) = \frac{\text{Target yield}}{\text{Initial density}} \quad (3.2)$$

with initial density being the number of vines authorized by the PDO within a plot (per hectare). However, the sanitary status of the vines influenced the yield they produce. While vines from the (AS) pool produced their share of the crop ( $Ry$ ), vines from the pool (S) only produced 75% of the contribution and vines in the pool (M) did not produce anything (Guérin-Dubrana et al., 2013). The yield if taking no action was defined in equation 3.3.

$$Yield_{ts} = Ry (\rho_{AS} AS_s + \rho_S S_s + \rho_M M_s) \quad (3.3)$$

with  $t$  the year,  $s$  Esca severity,  $AS = 1$ ,  $S = 0.75$  and  $M = 0$  the proportions in yield contribution of vines taking no action against Esca. The evolution of ( $AS$ ), ( $S$ ) and ( $M$ ) over time if taking no action was modelled in the equation system 3.4.

$$\begin{cases} AS_{ts} = AS_{t-1} - \beta_S AS_{t-1} - \delta_S AS_{t-1} \\ S_{ts} = \beta_S AS_{t-1} - \alpha_S S_{t-1} + S_{t-1} \\ M_{ts} = \alpha_S S_{t-1} - \delta_S AS_{t-1} + M_{t-1} \end{cases} \quad (3.4)$$

with  $\beta_s$ ;  $\delta_s$  and  $\alpha_s$  respectively the epidemiological values retained for the passage from %AS  $\rightarrow$  S; %AS  $\rightarrow$  M and %S  $\rightarrow$  M according to the Esca severity.

## 3.2.2 Modelling the impact of curettage

### 3.2.2.1 Curettage practice

In the absence of any action against the disease, Esca had a negative impact on the productivity of the vines and therefore on the yield obtained every year. The aim of curettage was to allow symptomatic vines ( $S$ ), which are less productive, to keep producing grapes. Curettage was therefore supposed to increase the yield obtained per infected vine on the long-

term and consequently the profitability of the plot. However, since curettage is costly, the model aimed to identify if it can be profitable at some point of the plot lifespan. Year 10 corresponded to the first year when curettage was performed. The practice was implemented up to the 25th year to avoid an unproductive investment on overaged vines (Mondello, Larignon, et al., 2018).

### 3.2.2.1.1 Evolution of curretted vines

Regarding the impact of curettage on the sanitary status of the vines, curettage corresponds to a reset of the vines with respect to Esca. The development of the curretted vines was therefore entirely independent of that of the other ones. Thus, the development of curretted vines no longer followed the annual severity, and their evolution was defined according to functions obtained from the results from experiments published by Lecomte et al. (2022). The model included two levels of curettage efficiency, “High” and “Low”. For a low efficiency, a percentage of curretted vines ( $Mc$ ) died (increase in the ( $Mc$ ) pool), while for the high efficiency, the mortality of curretted vines came to zero (Lecomte et al., 2022) (Table 3.2). The asymptomatic vines which have been treated previously ( $Asc$ ) could become symptomatic again and die. Thus, the number of ( $Asc$ ) was offset by the number of ( $Sc$ ). We also included that curettage was carried out between the ages of 10 and 25 during summer time.

TABLE 3.2 – Equations used for the evolution of curretted vines according to efficiency

Sanitary status	Efficiency	Evolution	Correlation coefficient
Asc	Low	$\phi_t : -0,0684t + 0,8544$	0,94
	High	$\phi_t : -0,020t + 0,973$	0,75
Sc	Low	$\gamma_t : 0,043t + 0,1519$	0,98
	High	$\gamma_t : 0,020t + 0,027$	0,75
Mc	Low	$\sigma_t : 0,0253t - 0,0063$	0,8
	High	$\sigma_t : 0$	

Once they are treated, vines are noted according to their sanitary status and with a  $c$  to indicate they have been already curretted (each vine can be curretted only once) of table 3.2

### 3.2.2.1.2 Contribution of curetted vines to the yield

A distinction was made for vines that became asymptomatic after curettage ( $ASc$ ) (carried out in year  $t$ ). The year after curettage, these ( $ASc(t_c + 1)$ ) vines produced only half of the contribution because of the time they needed to recovery after the curettage. Then, the ( $ASc(t > t_c + 1)$ ) vines produced 75% of the contribution. The vines which stayed symptomatic after curettage ( $Sc$ ) produced half of the contribution, in order to take into account the widest possible range of cases (Table 3.3).

TABLE 3.3 – Yield contribution of curetted vines

Sanitary status	Yield contribution
$Asc$	$t < t_c + 1$ $\rho_{Asc} = 0.5$
	$t > t_c + 2$ $\rho_{Asc} = 0.75$
$Sc$	$\rho_{Sc} = 0.5$
$Mc$	$\rho_{Asc} = 0$

Source : (Cholet et al., 2021)

The evolution of the uncured  $AS$ ,  $S$  and  $M$  vines differs from the case without curettage. The system becomes as follows :

$$\left\{ \begin{array}{l} AS_{ts} = AS_{t-1} - \beta_S AS_{t-1} - \delta_S AS_{t-1} \\ \quad \text{if } t > 26 \\ S_{ts} = \beta_S AS_{t-1} - \alpha_S S_{t-1} + S_{t-1} \\ M_{ts} = \alpha_S S_{t-1} + \delta_S AS_{t-1} + M_{t-1} \\ \quad \text{if no} \\ S_{ts} = \beta_S AS_{t-1} \\ M_{ts} = \delta_S AS_{t-1} \end{array} \right. \quad (3.5)$$

The modelling of the evolution of the ( $ASc$ ), ( $Sc$ ) and ( $Mc$ ) vines was defined as follows in equations (6) depending on  $t$  (curettage stopped on year 25).

$$\left\{ \begin{array}{l} AS_{c_{ts}} = S_{tcs} * \varphi_t \\ Mc_{ts} = S_{tcs} * \sigma_t \\ si AS_{c_{ts}} < 0 \\ c_t = S_{tcs} * \gamma_t + AS_{c_t} \\ \text{if no} \\ S_{c_{ts}} = S_{tcs} * \gamma_t \end{array} \right. \quad (3.6)$$

with  $\varphi_t$ ,  $\gamma_t$ , and  $\sigma_t$  the equations for the evolution of vines as a function of their sanitary status. The modelling of the yield obtained with the implementation of curettage was defined in equation (3.7) depending on  $t$  (curettage stops on year 25) and severity ( $s$ ).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{if } t_c < 26 \text{ years} \\ Yield_{ts} = Ry(\rho_{AS}AS + \rho_{AS_{c_1}}AS_{c_2} + \rho_{AS_{c_2}}AS_{c_2} + \rho_{sc}(S + Sc) + \rho_M(M + M_c) \\ \text{if no} \\ Yield_{ts} = Ry(\rho_{AS}AS + \rho_{AS_{c_1}}AS_{c_2} + \rho_{AS_{c_2}}AS_{c_2} + \rho_{sc}Sc + \rho_sS + \rho_M(M + M_c) \end{array} \right. \quad (3.7)$$

### 3.2.2.2 Modelling the impact of complantation

#### 3.2.2.2.1 Complantation practice

Complantation is a technique that consists in replacing the prematurely dead or diseased vines in the plot with young vine plants. First, the winegrower pulls up the dead vines, subsequently replants young plants instead, and finally maintains regularly the young plant up to its maturity. The aim is to extend the plot lifespan and improve the yield. It prevents the plot to reach the maximum percentage of missing vines authorized by the PDO rules. In that case, the plot would be downgraded or excluded from the PDO. The winegrower would have had to uproot the plot and to start again from zero. Thus, to avoid this, a winegrower has an incentive to reduce the percentage of missing vines thanks to complantation. About the frequency of complantation on the plot, we made the assumption that complantation was carried out each time the number of missing vines reached 5%. The efficiency of this practice depends on the maintenance of the young plants that are together in the plot with old vines whose roots are already better

established. Without regular maintenance, the vine can take up to 9 years to reach its full production potential. This long return can be explained by the competition from other vines and the fragility of the new vine toward the various bio-aggressors, hence the intense maintenance of the young plants for better efficiency of the practice. To take into account different complantation efficiencies, we varied the time to maturity of the young vines (5 years for high efficiency and 9 for low efficiency). In the model, we considered that the winegrower implements complantation from year 10 up to year 25 (age of the plot) to ensure a return on the investment, similarly to curettage.

### 3.2.2.2 Evolution of the sanitary status of the vines

The evolution of the vines with the implementation of complantation was defined following equation 3.13 depending on complantation efficiency (difference in time for a young vine to produce), on Esca severity  $s$  and on  $t$  (complantation stops on year 25). The coefficients of the equations are the same as those defined in Table 3.1.

The yield was obtained by summing the different pools of vines in the plot, weighted by their respective yield contributions.

## 3.3 Economic model

### 3.3.1 Simple model for fixed costs and prices

We calculated the net present value ( $NVP$ ) of profits per hectare to analyze the profitability of each practice (compared to “no action”) and capture the long-term effect of adopting a curative practice. We first calculated annual profits according to equation 3.8 if implementation of one practice. If no action,  $Yield_{tpse}$  was replaced by  $Yield_{ts}$ . If no Esca, the yield was the Target yield.

$$NPV_{tpse} = \frac{Yield_{tpse} \times Price - TotalCost_{tp}}{(1 + r)^t} \quad (3.8)$$

with  $t$  the year,  $p$  the practice,  $s$  Esca severity and  $e$  practice efficiency,  $r=4\%$  the discount rate corresponding to the French legal interest rate in 2018 (Banque de France, 2018). The

cumulative *NPV* was obtained by equation 3.9.

$$NPV_{ipse} = \sum_{t=3}^{40} \frac{Yield_{tpse} \times Price - TotalCost_{tp}}{(1+r)^t} \quad (3.9)$$

We differentiated the calculation of profit according to the practice and its technical characteristics.

► **Profit for curettage**

For curettage, the profit was calculated following equation 3.10.

$$NPV_{ipse} = \sum_{t=3}^{40} \frac{Yield_{tpse} \times Price - Cost_{tp} * Sc_{tse}}{(1+r)^t} \quad (3.10)$$

► **Profit for complantation**

For complantation, the profit was calculated following equation 3.11.

$$NPV_{ipse} = \sum_{t=3}^{40} \frac{Yield_{tpse} \times Price - Cost_{tp} * yp_{tse}}{(1+r)^t} \quad (3.11)$$

The equations were coded with the software R. Studio.

► **Parameters for scenarios**

We run the model for three different wine regions (PDO) in the South-west wine area (France) to test different production systems. The parameters for each PDO are presented in Table 3.4. The prices were the average prices observed for the period 2017-2018 (data FranceAgrimer). The cost of the practices has been set according to the literature for curettage (€6.4/vine) (SICAVAC, 2018) and complantation (€7.7/vine) (BIVB, 2017b) for the simple simulations.

TABLE 3.4 – Parameters for the different regions (2017-2018)

Wine region	Density (vines/ha)	Percentage of maximum missing vines	Maximum yield authorized	Average price
PDO Entre-deux-Mers	4,5	20%	65 hL/ha	138.9 €/hL
PDO Pauillac	7	20%	57 hL/ha	1,000.0 €/hL
PDO Cognac Cru Fins Bois	3	35%	116.4 hL/ha	122.0 €/hL

### 3.3.2 Monte Carlo simulations

We then used a Monte Carlo simulation model in line with [Neumann et Morgenstern \(1944\)](#) to make simultaneously the cost of the practices (curettage, complantation) and the wine prices vary and draw a sensitivity analysis, as already done by [Atallah et al. \(2017\)](#), in order to better understand the impact of a variation of cost or price on the market on the economic profitability. Costs and prices were therefore considered as variables in the model. We run 6000 simulations and calculated from each of them the minimum, mean, median, maximum and standard deviation of the NPV over 40 years for each scenario. For each period, the model used a random draw for prices and costs according to [Table 3.24](#). The different ranges have been chosen according to real market conditions. We present in the results the mean value as a proxy of the profit associated to each practice ([Equation 3.12](#)). The different ranges have been chosen according to real market conditions. We present in the results the mean value as a proxy of the profit associated to each practice ([Equation 3.12](#)). All the other results are presented in the appendix in [Tables 3.13, 3.14 and 3.15](#).

$$\text{MeanNPV}_{dse} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \sum_{t=3}^{40} \frac{\text{Yield}_{tdse} \times \text{Price}_{it} - \text{TotalCost}_{itdse}}{(1+r)^t} \right) \quad (3.12)$$

TABLE 3.5 – Variation range for costs and prices

Region	Cost curettage	Cost complantation	Wine prices (€/hL)
PDO Entre-deux-Mers			[120-200]**
PDO Pauillac	[4-15]* €/vine	[4-15]* €/vine	[800-1100]***
PDO Cognac Cru Fins Bois			[125-340]****

\* [BIVB \(2017a\)](#)

\*\* For the PDO Entre-deux-Mers, we used average wine prices from FranceAgriMer over the period (1988-2019) and used the minimum and maximum price over the period considered to establish our variation interval.

\*\*\* For the PDO Pauillac, we used the data of the prefecture of Gironde setting the annual wine price over the period 2012-2019 ([Préfecture, 2023](#)) and used the minimum and maximum price over the period considered to establish our variation interval.

\*\*\*\* For the PDO Cognac, we used the data over the period 2007-2018 ([Océan, 2019](#)) and used the minimum and maximum price over the period considered to establish our variation interval.

## 3.4 Results

### 3.4.1 Simple model (fixed costs and prices)

#### 3.4.1.1 Impact of curettage and complantation on annual and cumulative yields

##### 3.4.1.1.1 Curettage practice

Curettage had a positive impact on annual yields whatever the scenario (Figure 3.1). This impact was more significant for the high and medium severities than for a low severity. Indeed, when the severity was low, we observed a convergence of the curves. It is therefore less interesting in terms of yield gain for the winegrower to implement curettage under low disease severity. To consider the long-term effect of the implementation of curettage, we then calculated the cumulative yield over the lifetime of the plot (Figure 3.2 and Table 3.25). The higher was the severity of Esca, the higher was the gain in terms of cumulative yield.

TABLE 3.6 – Matrix of gains for curettage based on cumulative yields at age 40 (hL/ha)

Region	Severity/Efficiency	Low severity	Medium severity	High severity	
PDO Entre-deux-Mers	No Esca	2,470.0	2,470.0	2,470.0	
	No action	2,296.4	1,604.8	1,059.6	
	Low		2,303.0 (+6.6)	1,906.8 (+302.0)	1,566.4 (+506.8)
		High	2,318.0 (+21.6)	2,010.5 (+405.7)	1,721.0 (+661.4)
	PDO Pauillac	No Esca	2,166.0	2,166.0	2,166.0
		No action	2,013.8	1,407.3	929.2
Low			2,019.8 (+6.0)	1,672.1 (+264.8)	1,373.6 (+444.4)
		High	2,032.9 (+19.1)	1,763.1 (+355.8)	1,509.5 (+580.3)
PDO Cognac cru Fin Bois	No Esca	4,423.0	4,423.0	4,423.0	
	No action	4,112.3	3,030.4	1,964.0	
	Low		4,124.6 (+12.3)	3,541.7 (+511.3)	2,877.3 (+913.3)
		High	4,151.5 (+39.2)	3,600.4 (+570.0)	3,088.9 (+1,124.9)

In the Entre-deux-Mers wine region, the results varied according to the scenario considered.

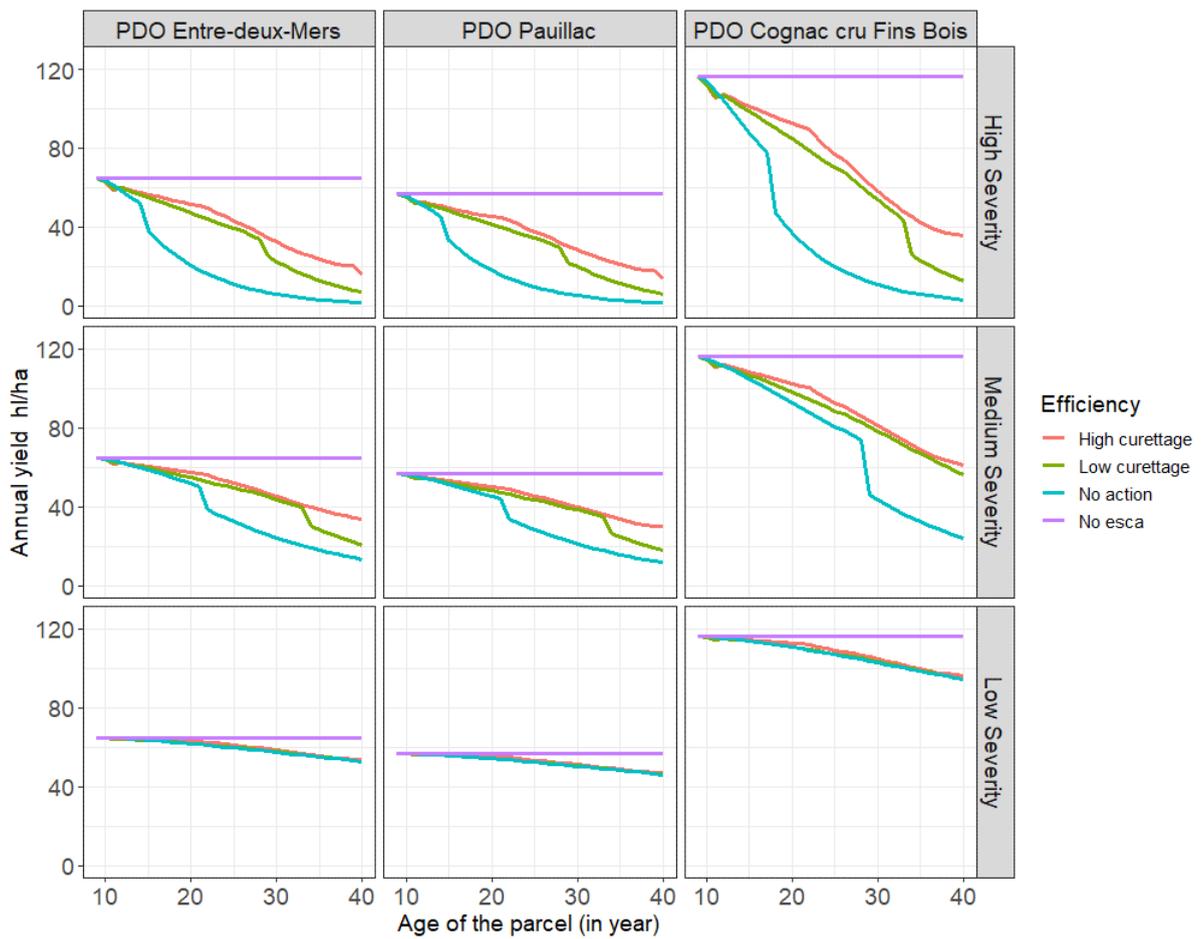


FIGURE 3.1 – Evolution of annual yield (hl/ha) for curettage scenario by regions and disease severity level.

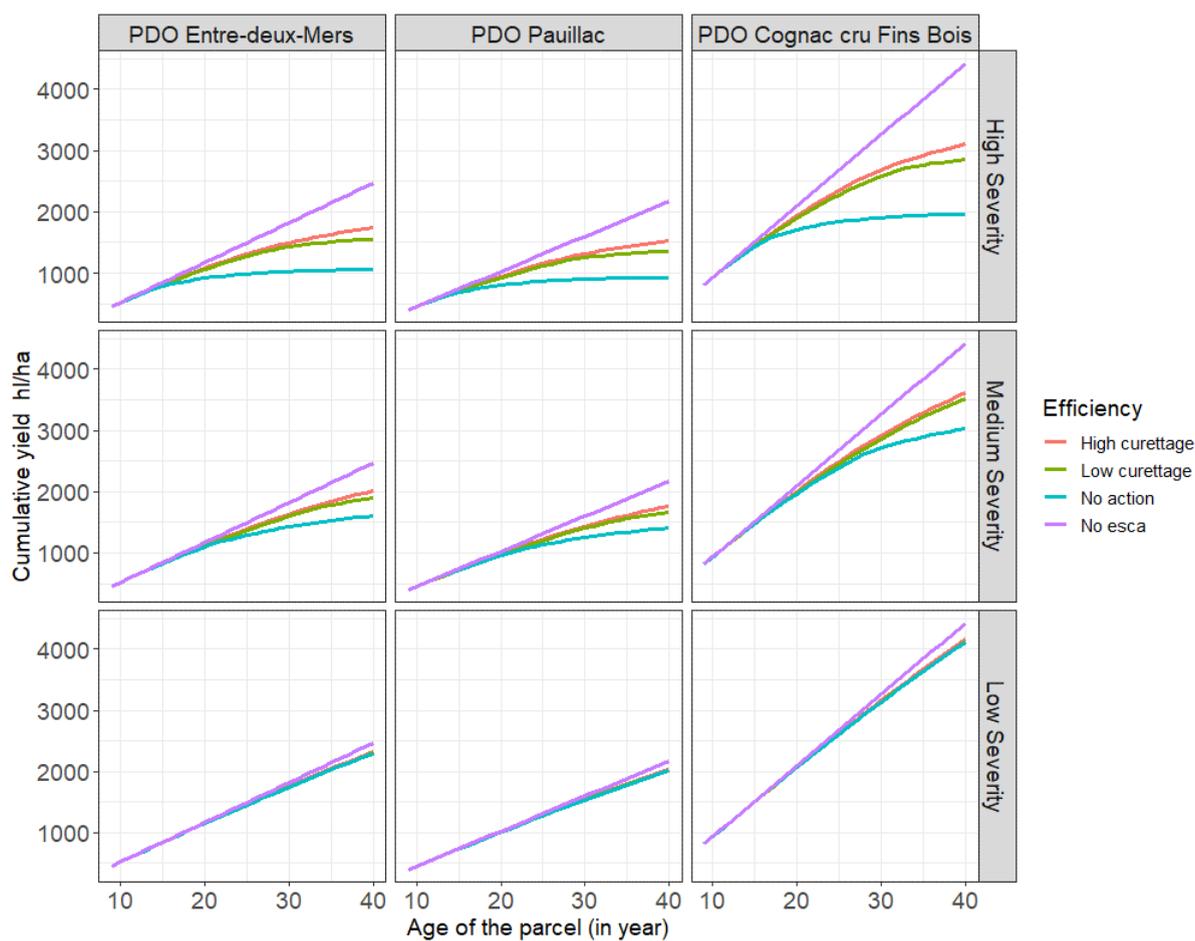


FIGURE 3.2 – Evolution of cumulative yield (hl/ha) for curettage scenario by regions and disease severity level

First, if the severity of the disease was low, the gain was quite low as well and went from 7 to 22 hl when implementing curettage compared to “no action” depending on its efficiency. For a medium severity, the gain went from 302 to 405.71 hl/ha, representing 15.8 to 20.2% compared to no action. And when the severity was high, the gain went from 506.77 to 661.33 hl/ha i.e., at least a third more over the lifespan of the plot. For the Pauillac and Cognac cru Fin Bois wine region, the results were in the same order of magnitude in percentage even if the authorized PDO yields are different. If the severity was low, the gain was low as well (<1% i.e., close to zero over a plot lifespan). It increased by 18.8 to 25.2% for Entre-deux-Mers and Pauillac if the severity was medium, and by 16.8 to 18.8% for Cognac cru Fins Bois, in all cases depending on the curettage efficiency. For a high Esca severity, the differences were higher and similar for all the three regions (from 46.5% to 62.4%), representing half of the harvest saved thanks to the implementation of curettage during 15 years.

#### **3.4.1.1.2 Complantation practice**

Complantation had a positive impact on the annual and cumulative yields in the long-term (Figure 3.3 and Table 3.26) as well as on the gain depended on the scenario considered (efficiency of the practice and severity of the disease). When the severity of Esca was low, the gain was quite low as well as (from 21.3 to 56.8hL/ha over 40 years depending on the efficacy of the practice) representing a marginal part of the harvest over 40 years if no action (around 1%). It was higher when the severity was medium or high (Table 3.26). The more the severity was high, the more the gain in yield was important, especially when the complantation was efficient. The gain represented up to 43.5% of the harvest if no action (PDO Pauillac, high severity, high efficiency).

### **3.4.2 Impact of curettage and complantation practices on annual and cumulative net profits**

#### **3.4.2.1 Curettage practice**

Whatever the PDO, when severity was high, the curettage was not profitable (Figure B.3) over the first period (years 10 to 15). A higher profit was obtained when the winegrower chose

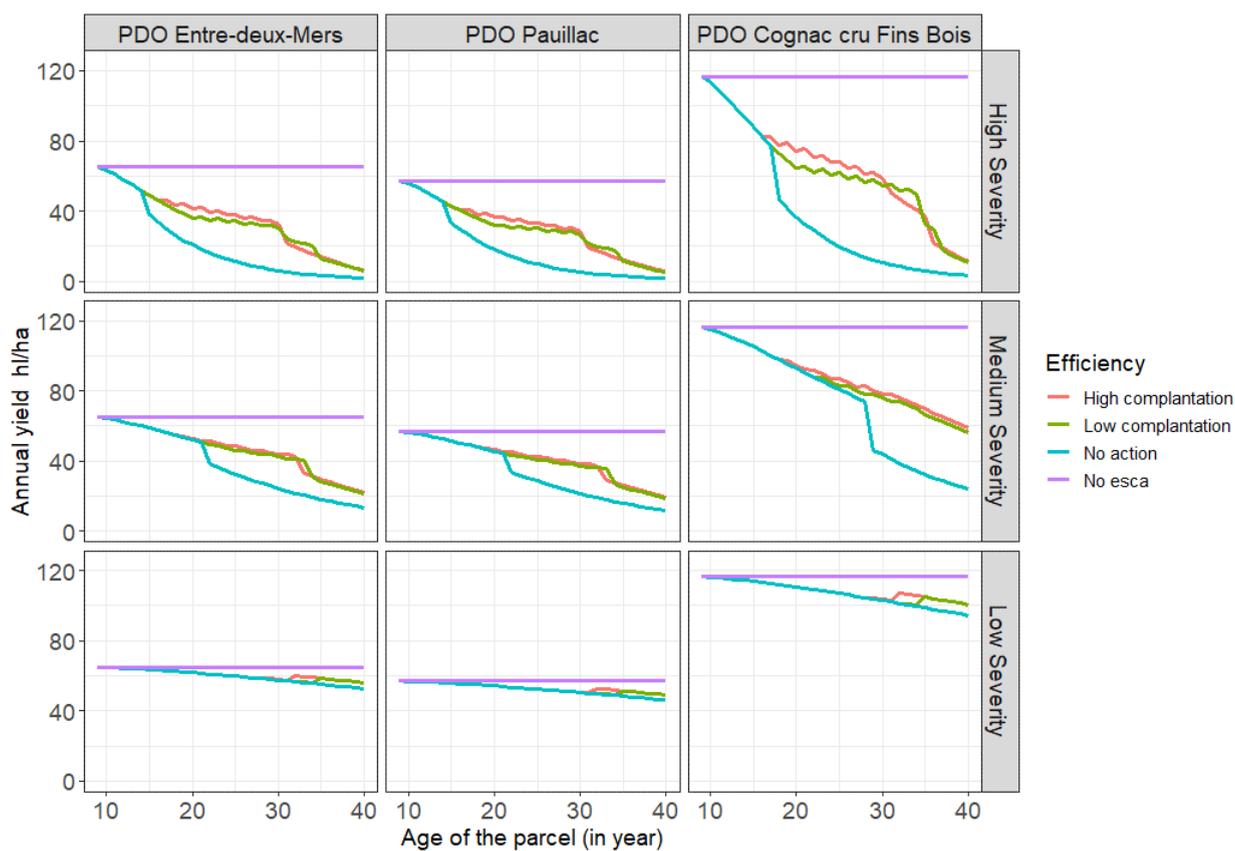


FIGURE 3.3 – Evolution of annual yield for complantation by region depending on Esca severity (hL/ha).

TABLE 3.7 – Matrix of gains for complantation based on cumulative yields at age 40 (hL/ha)

Region	Severity/Efficiency	Low severity	Medium severity	High severity	
PDO Entre-deux-Mers	No Esca	2,470.0	2,470.0	2,470.0	
	No action	2,296.4	1,604.8	1,059.6	
	Low		2,317.7	1,863.8	1,477.3
			(+21.3)	(+259.0)	(+417.7)
	High		2,328.3	1,882.6	1,520.4
			(+31.9)	(+277.8)	(+460.8)
PDO Pauillac	No Esca	2,166.0	2,166.0	2,166.0	
	No action	2,013.8	1,407.3	929.2	
	Low		2,032.4	1,634.4	1,295.5
			(+18.6)	(+227.1)	(+366.3)
	High		2,041.7	1,650.9	1,333.3
			(+27.9)	(+243.6)	(+404.1)
PDO Cognac cru Fin Bois	No Esca	4,423.0	4,423.0	4,423.0	
	No action	4,112.3	3,030.4	1,964.0	
	Low		4,150.43	3,453.2	2,715.6
			(+38.1)	(+422.8)	(+751.6)
	High		4,169.1	3,511.1	2,783.0
			(+56.8)	(+480.7)	(+819.0)

not to carry out curettage on symptomatic vines. The newly curretted vines produced a lower yield than the symptomatic ones that were not treated that way. Because of the cost of curettage, the profitability was then lower in the short-run. But from 15 years onwards, benefits outweighed costs because of the evolution of the disease, meaning that the curettage turned profitable 5 years after the first implementation of the practice (when the vineyard is 10 years old). When the severity is medium, the profitability came later : year 20 for PDOs Entre-deux-Mers and Pauillac and year 28 for PDO Cognac cru Fins Bois) and the difference between implementing curettage or taking no action was lower than for a high severity. The annual results finally showed that the impact of curettage on the annual net profits mainly depends on the severity of Esca.

The results on the cumulative net profits also showed that the profit was negative or close to zero over the plot lifespan when the severity was low (Figure 3.5 and Table 3.27), especially when the efficiency of the practice was low. When the severity was medium, the cumulative net profits were not so high (around 10%) except for the PDO Pauillac (high wine prices compared

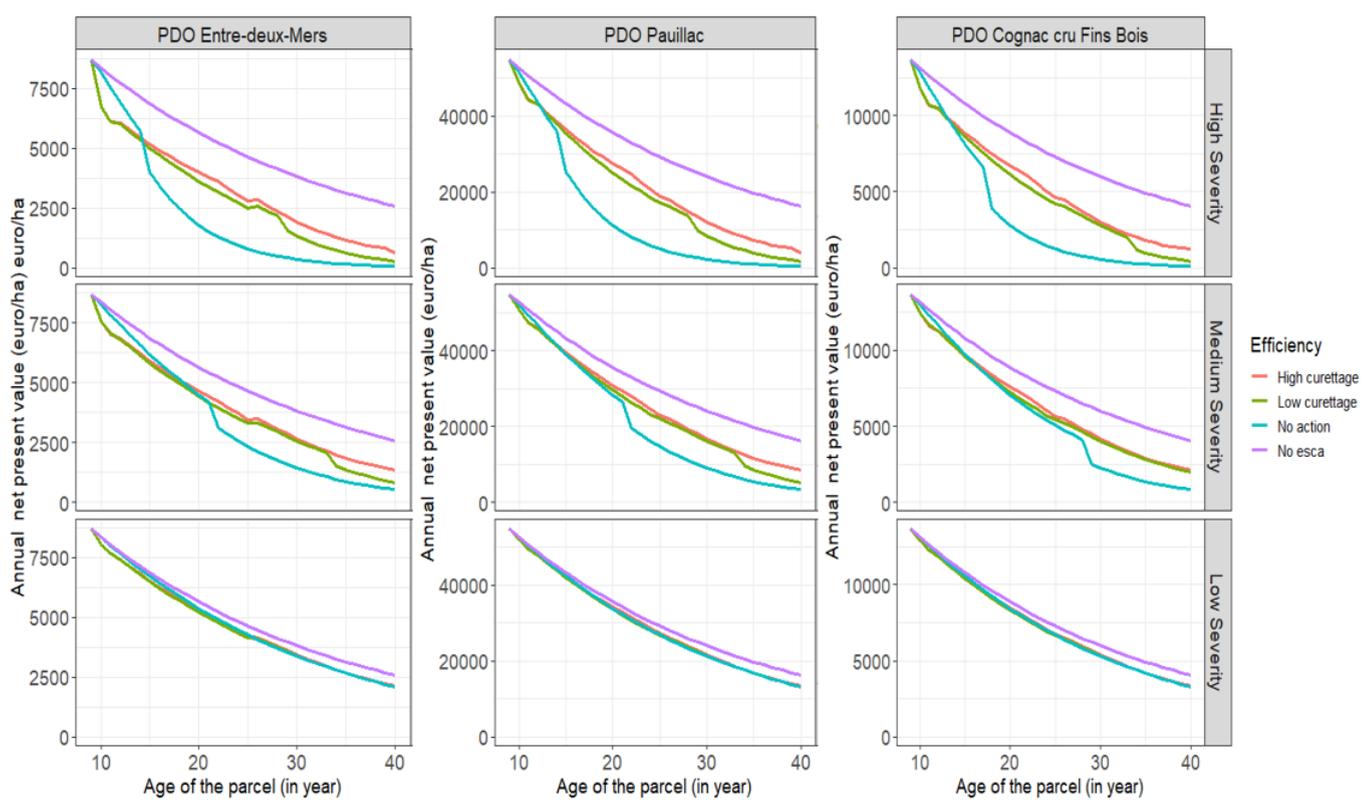


FIGURE 3.4 – Evolution of annual net profits for curettage by region depending on Esca severity (€/ha)

to the two other ones). The cumulative net profits were more important when the severity was high. It is therefore not interesting for a wine grower to invest in such a practice for all the plots, but to select the ones with highest severities for a better profitability of curettage in the long-term.

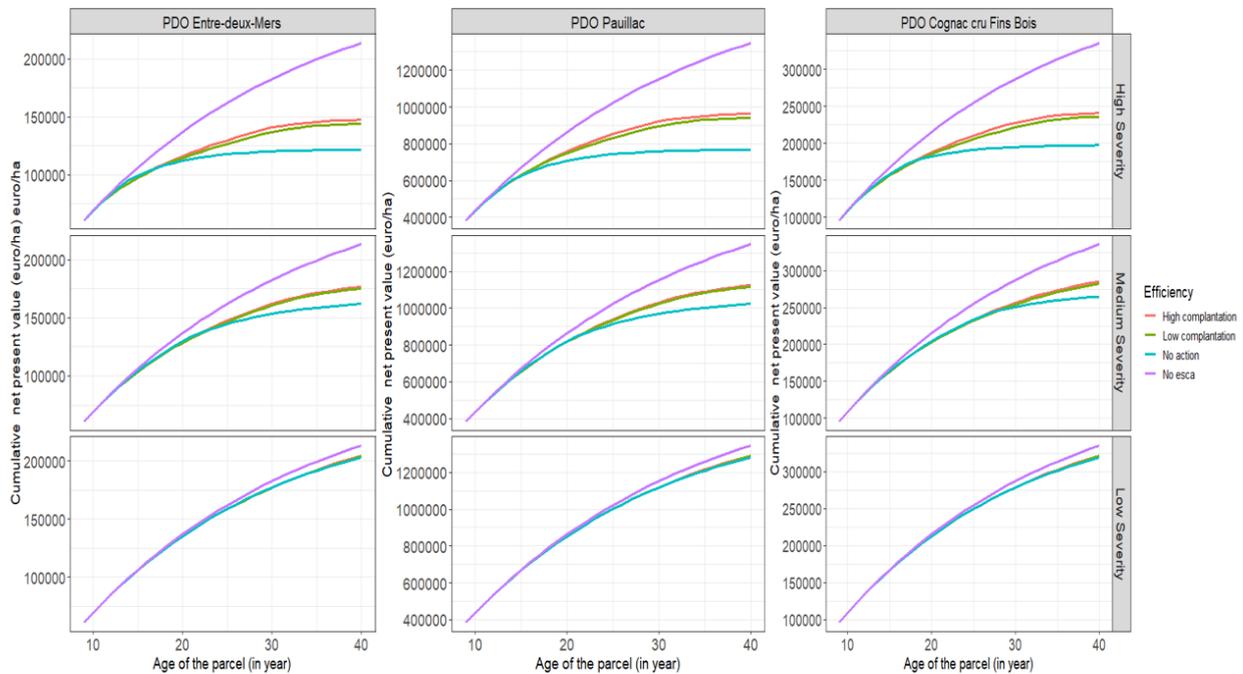


FIGURE 3.5 – Cumulative net profits for curettage by region depending on Esca severity (€/ha)

### 3.4.2.1.1 Complantation practice

The results showed that complantation is always more profitable than taking no action against Esca (positive values). It was more beneficial for winegrowers to invest in the practice of complantation than doing nothing. The annual profits varied according the implementation of complantation or not (Figure 3.6). They were quite low in the end in any case.

The cumulative gains over the lifespan of the plot according to the different scenarios studied were presented in Table 3.9 (see also Figure 3.7). As for the curettage, the results showed that it was definitely not interesting to implement complantation when the severity of the disease was low (very low net profits over a plot lifespan). The cumulative net profits on complantation were higher whatever the PDO when the severity was medium or even more when it is high.

TABLE 3.8 – Matrix of gains for curettage based on cumulative net profits (NPV) at age 40 (€/ha)

Region	Severity/Efficiency	Low severity	Medium severity	High severity
PDO Entre-deux-Mers	No Esca	213,443.5	213,443.5	213,443.5
	No action	203,259.8	162,019.9	121,753.3
	Low	200,487.9 (-2,771.9)	173,733.3 (+11,713.4)	147,693.8 (+25,940.5)
	High	201,644.8 (-1,615)	179,436.6 (+17,416.7)	156,957.3 (+35,204.0)
PDO Pauillac	No Esca	1,347,639.0	1,347,639.0	1,347,639.0
	No action	1,283,341.0	1,022,961.0	768,725.5
	Low	1,280,213.0 (-3,128.0)	1,128,543.0 (+105,582.0)	985,321.4 (+216,595.9)
	High	1,287,517.0 (+4,176.0)	1,164,552.0 (+141,591.0)	1,043,809.2 (+275,083.7)
PDO Cognac cru Fin Bois	No Esca	335,746.4	335,746.4	335,746.4
	No action	319,727.4	264,621.9	197,425.8
	Low	318,105.0 (-1,622.4)	284,255.4 (+19,633.5)	245,945.8 (+48,520.0)
	High	319,924.8 (+197.4)	288,277.6 (+23,655.7)	257,197.2 (+59,771.4)

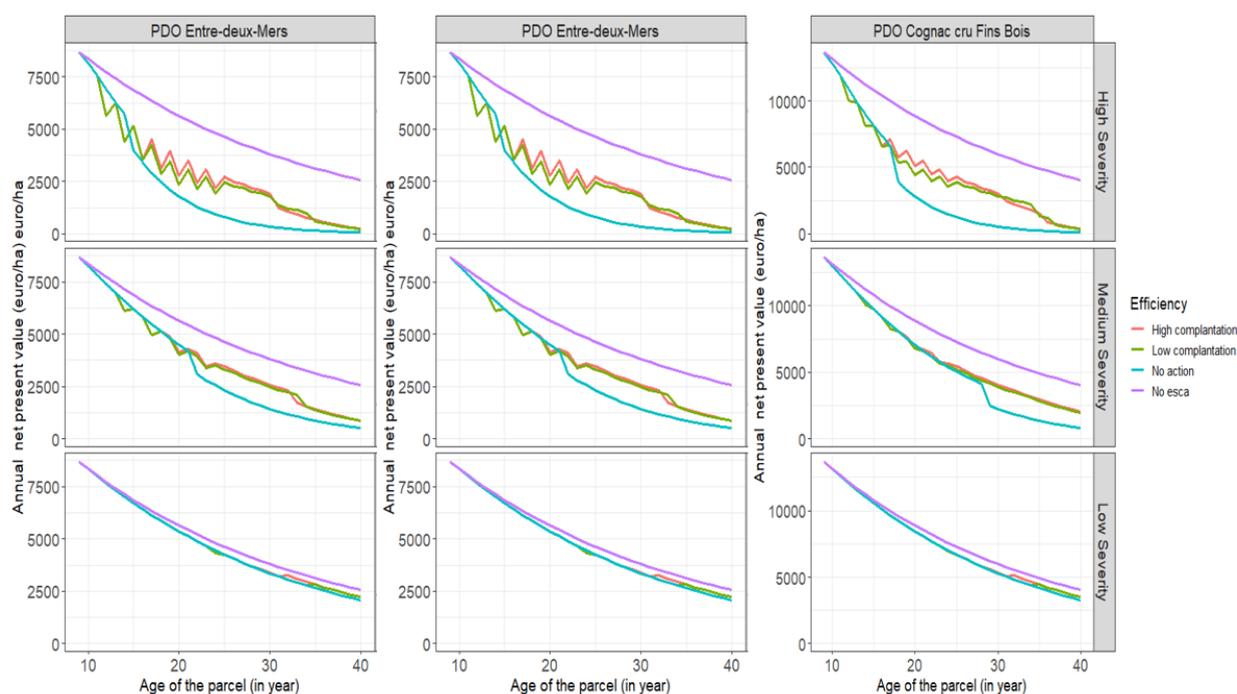


FIGURE 3.6 – Evolution of annual net profits for complantation by region depending on Esca severity (€/ha)

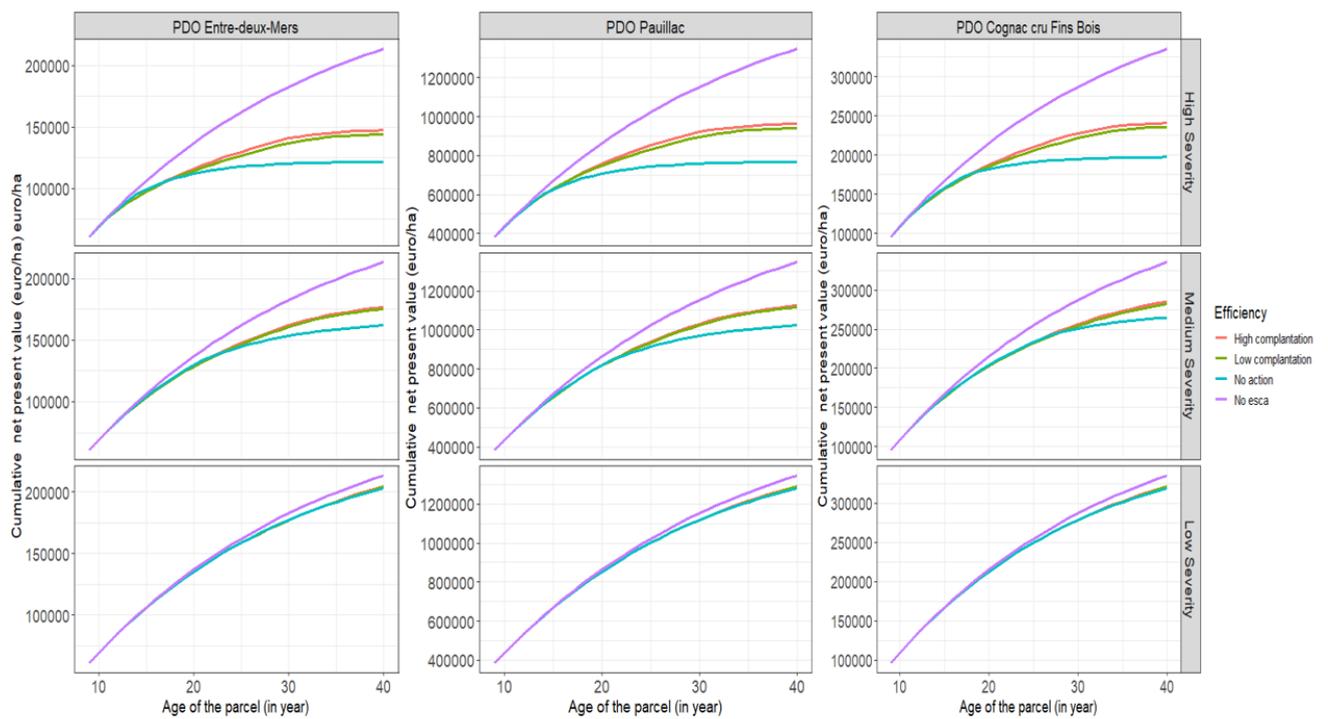


FIGURE 3.7 – Cumulative net profits for complantation by region depending on Esca severity (€/ha)

TABLE 3.9 – Matrix of gains for complantation based on cumulative net profits (NPV) at age 40 (€/ha)

Region	Severity/Efficiency	Low severity	Medium severity	High severity	
PDO Entre-deux-Mers	No Esca	213,443.5	213,443.5	213,443.5	
	No action	203,259.8	162,019.9	121,753.3	
	Low		204,087.9	175,464.9	144,099.6
			(+828.1)	(+13,445.0)	(+22,346.3)
	High		204,649.3	176,773.4	147,472.9
			(+1,389.5)	(+14,753.5)	(+25,719.6)
PDO Pauillac	No Esca	1,347,639.0	1,347,639.0	1,347,639.0	
	No action	1,283,341.0	1,022,961.0	768,725.5	
	Low		1,289,090.0	1,116,349.0	941,507.4
			(+5,749.0)	(+93,388.0)	(+172,781.9)
	High		1,292,634.0	1,124,650.0	963,845.1
			(+9,293.0)	(+101,689.0)	(+195,119.6)
PDO Cognac cru Fin Bois	No Esca	335,746.4	335,746.4	335,746.4	
	No action	319,727.4	264,621.9	197,425.8	
	Low		321,129.3	282,138.9	235,851.6
			(+1,402.0)	(+17,517.0)	(+38,425.8)
	High		322,012.2	285,245.1	240,965.2
			(+2,284.0)	(+20,623.2)	(+43,539.4)

### 3.4.2.1.2 Comparison of benefits between complantation and curettage

For all the wine regions, when the severity of the disease on the plot was low, it was more advantageous to implement complantation rather than curettage each year (Table 3.10). On the contrary, when the severity was high, it was more profitable to choose curettage whatever the PDO considered. It is the same when the severity is medium, except for one case (Entre-deux-Mers, low efficiency because of the difference in prices).

## 3.5 Monte Carlo simulations on costs and prices

### 3.5.1 Impact of cost and price variations on net profits for curettage

The results for the average annual net profits confirmed the results obtained with the simple model (Figure 3.8). When the severity was low, the curves overlapped because there was no difference between the average net present values of the different scenarios. For medium and

TABLE 3.10 – Matrix Comparison of cumulative net profits (NPV) at age 40 according to the different scenarios

Region	Efficiency	Severity/ Practice	Low severity	Medium severity	High severity
PDO Entre-deux-Mers	Low	No action	0	0	0
		Curettage	-2,771.9	11,713.4	<b>25,940.5</b>
		Complantation	<b>828.1</b>	<b>13,445.0</b>	22,346.3
	High	Curettage	-1,615.0	<b>17,416.7</b>	<b>35,204.0</b>
		Complantation	<b>1,389.5</b>	14,753.5	25,719.6
		No action	0	0	0
PDO Pauillac	Low	Curettage	-3,128.0	<b>105,582.0</b>	<b>216,595.9</b>
		Complantation	<b>5,749.0</b>	93,388.0	172,781.9
		No action	0	0	0
	High	Curettage	4,176.0	<b>141,591.0</b>	<b>275,083.7</b>
		Complantation	<b>9,293.0</b>	101,689.0	195,119.6
		No action	0	0	0
PDO Cognac Cru Fin Bois	Low	Curettage	-1,622.4	<b>19,633.5</b>	<b>48,520.0</b>
		Complantation	<b>1,402.0</b>	17,517.0	38,425.8
		No action	0	0	0
	High	Curettage	197.4	<b>23,655.7</b>	<b>59,771.4</b>
		Complantation	<b>2,284.0</b>	20,623.2	43,539.4
		No action	0	0	0

high severities, it was easier to observe a difference and a premium for curettage against taking no action, especially if its efficiency was high, especially for the PDOs Entre-deux-Mers and Pauillac. The average cumulative net profits were more difficult to analyse (Figure 3.9). The curves overlapped, especially for the PDO Cognac Cru Fins Bois because the range of price variation is larger. But analysing the mean, min, max and standard deviation (Appendix in Tables 3.13, 3.14 and 3.15), the hierarchy between the different scenarios remained the same.

### 3.5.2 Impact of cost and price variations on cumulative net profits for complantation

Figure 3.10 presents the average annual net profits that were in line with the results obtained with the simple model. When the severity was low, the curves overlapped because there was no difference between the average net present values of the different scenarios. For medium and high severities, it was easier to observe a difference and a premium for complantation against taking no action. It is not so clear for complantation if the difference in efficiency of the practice is of importance to obtain better cumulative net profits. The curves for average cumulative net

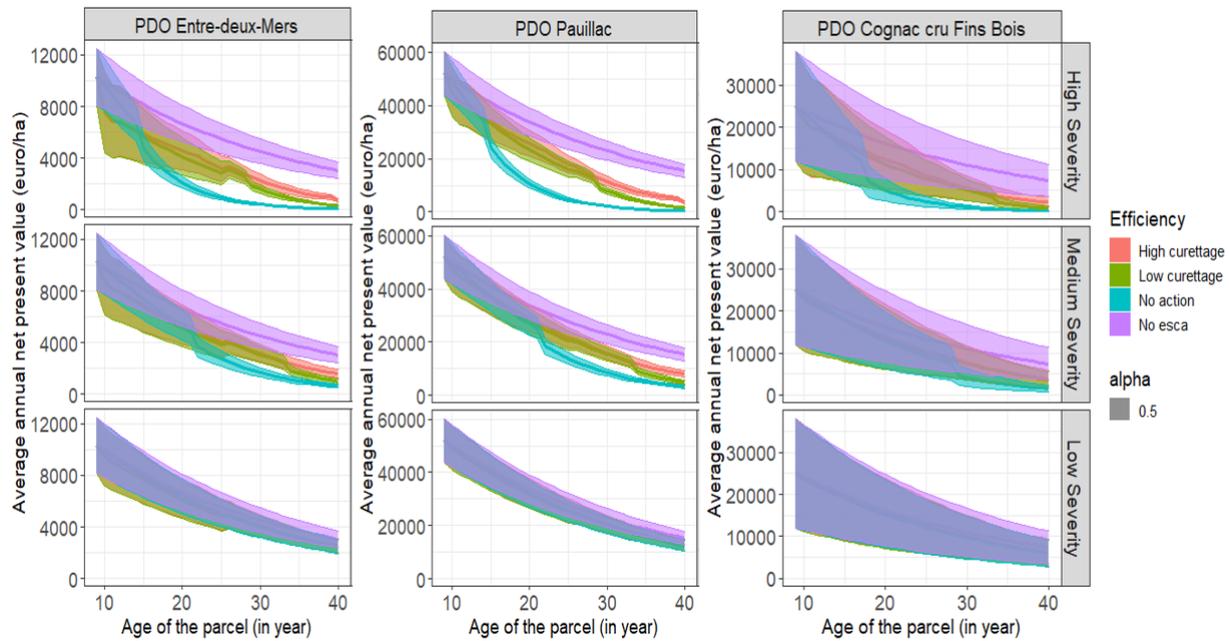


FIGURE 3.8 – Monte Carlo simulation of annual net profits for curettement by region depending on Esca severity (€/ha)

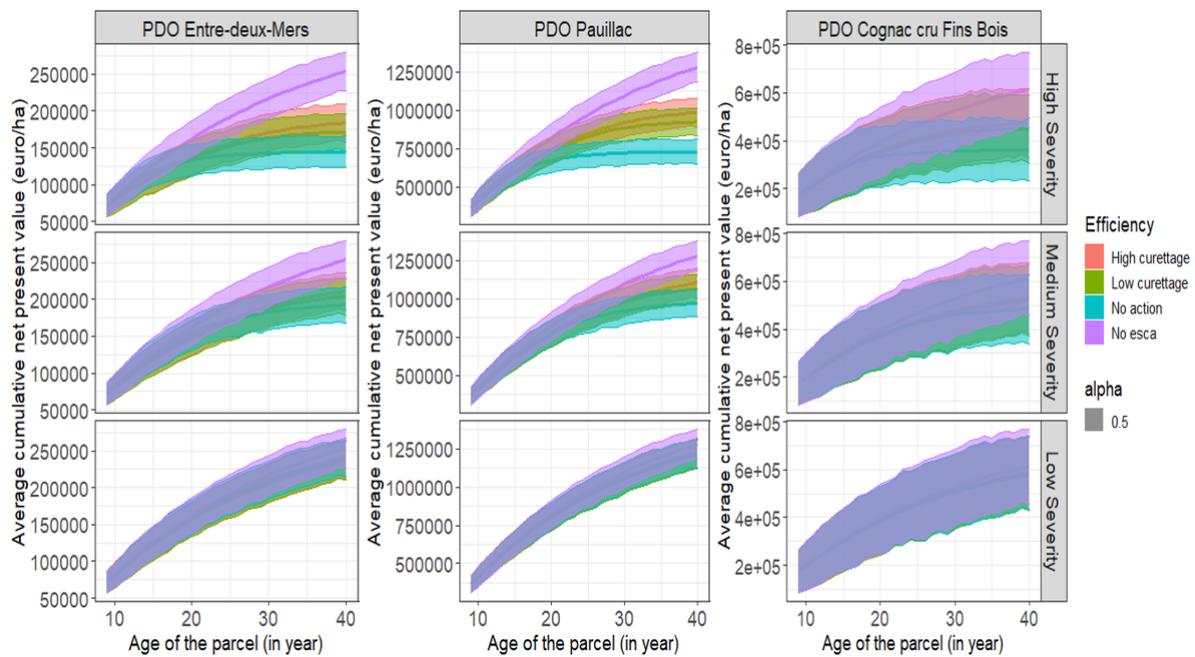


FIGURE 3.9 – Monte Carlo simulation of cumulative net profits (NPV) for curettement by region depending on Esca severity (€/ha)

profits overlapped (Figure 3.11), especially for the PDO Cognac cru Fins Bois because the range of price variation is larger. But analysing the mean, min, max and standard deviation for the three PDOs (Appendix 3.7), the hierarchy between the different scenarios remained the same.

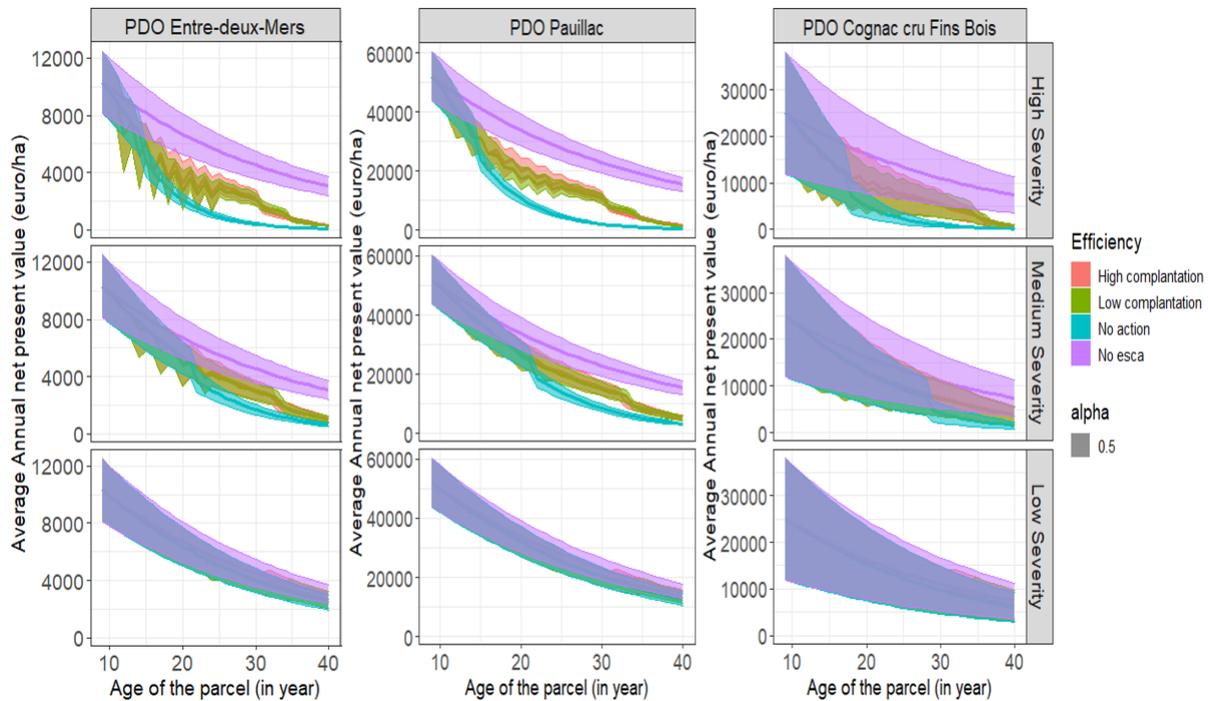


FIGURE 3.10 – Monte Carlo simulation of annual net profits for complantation by region depending on Esca severity (€/ha)

### 3.5.3 Comparison of curettage and complantation

The Monte Carlo simulation confirmed the results obtained with the simple model (Table 3.11). When the severity was low, the advantage went to complantation compared to curettage or no action. When the severity was high, the advantage went to curettage. It was the same for a medium severity excepted for PDO Entre-deux-Mers if the efficiency of the practices was low. In that particular case, complantation is more profitable.

TABLE 3.11 – Average cumulative net profits (NPV) at age 40 according to the different scenarios – Monte Carlo 6000 simulations (€/ha)

Region	Efficiency	Practice/ Severity	Low severity	Medium severity	High severity	
PDO Entre-deux-Mers		No Esca	253,455.0			
		No action	241,357.4	192,365.0	144,544.2	
	Low	Curettage	236,994.3 (-4,363.1)	203,943.9 (+11,578.9)	<b>171,453.7</b> <b>(+26,909.5)</b>	
		Complantation	<b>242,336.2</b> <b>(+978.8)</b>	<b>208,262.5</b> <b>(+15,897.5)</b>	170,780.6 (+26,236.4)	
	High	Curettage	238,717.2 (-2,640.2)	<b>211,558.7</b> <b>(+19,193.7)</b>	<b>184,087.9</b> <b>(+39,543.7)</b>	
		Complantation	<b>243,003.2</b> <b>(+1,645.8)</b>	209,815.7 (+17,450.7)	174,774.4 (+30,230.2)	
	PDO Pauillac		No Esca	1,279,828.9		
			No action	1,218,748.1	971,387.3	729,922.5
Low		Curettage	1,212,364.3 (-6,383.8)	<b>1,064,271.9</b> <b>(+92,884.6)</b>	<b>923,295.2</b> <b>(+193,372.7)</b>	
		Complantation	<b>1,224,161.2</b> <b>(+5,413.1)</b>	1,059,339.0 (+87,951.7)	891,104.4 (161,181.9)	
High		Curettage	1,221,064.1 (+2,316.0)	<b>1,102,721.3</b> <b>(+131,334.0)</b>	<b>987,084.9</b> <b>(+257,162.4)</b>	
		Complantation	<b>1,227,528.7</b> <b>(+8,780.6)</b>	1,067,217.7 (+95,830.4)	912,212.7 (+182,290.2)	
PDO Cognac Cru Fin Bois			No Esca	614,397.9		
			No action	585,055.3	484,092.7	361,106.8
	Low	Curettage	582,350.0 (-2,705.3)	<b>520,398.3</b> <b>(+36,305.6)</b>	<b>450,663.2</b> <b>(+89,556.4)</b>	
		Complantation	<b>587,666.3</b> <b>(+2,611.0)</b>	516,932.0 (+32,839.3)	434,125.9 (+73,019.1)	
	High	Curettage	586,527.2 (+1,471.9)	<b>530,110.3</b> <b>(+46,017.6)</b>	<b>475,560.1</b> <b>(+114,453.3)</b>	
		Complantation	<b>589,284.9</b> <b>(+4,229.6)</b>	522,621.1 (+38,528.4)	443,552.6 (+82,445.8)	

TABLE 3.12 – Difference in average cumulative net profits (NPV) between high and low efficiency of the practices at age 40 according to the different scenarios : Monte Carlo 6000 simulations (€/ha)

Region	Practices	Low severity	Medium severity	High severity
PDO Entre-deux-Mers	Curettage	+1,722.9	+7,614.8	+12,634.2
	Complantation	+667.0	+1,553.2	+ 3,993.8
PDO Pauillac	Curettage	+8,699.8	+38,449.4	+63,789.7
	Complantation	+3,367.5	+ 7,878.7	+21,108.2
PDO Cognac Cru Fins Bois	Curettage	+4,177.2	+9,712.0	+24,896.9
	Complantation	+1,618.6	+5,689.1	+9,426.7

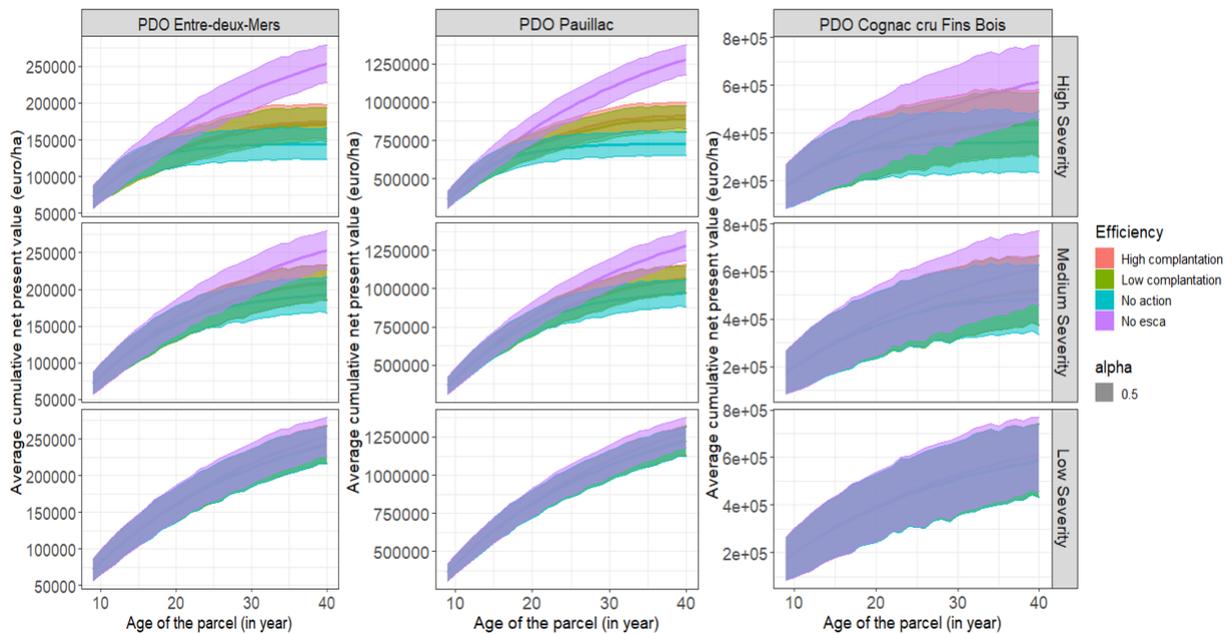


FIGURE 3.11 – Monte Carlo simulation of cumulative net profits (NPV) for complantation by region depending on Esca severity (€/ha)

### 3.6 Discussion

This study analysed the economic impact of implementing two curative practices (curettage and complantation) to deal with Esca wood disease at the plot level. The results showed that for a plot infected with Esca, the implementation of one curative practice had a positive impact on yield and on the economic profitability of the plot in the long term (at least not negative).

#### ► Importance of the time horizon in the impact of curettage and complantation practices

The implementation of these practices represents a real investment for a winegrower. It is therefore wise for him to make a cost/benefit analysis of this investment to evaluate its economic profitability. As in any investment, the time horizon of the profitability is important for the investor. It is thus necessary to analyse the profitability on the long term in order to estimate its real potential. In this study, we evaluated the annual impact of the implementation of the two practices (short-term effect) and the cumulative impact of these practices over the entire life of

the plot, i.e. on average 40 years (long-term effect). In the analysis, we distinguished the impact of the practices on the yield from the impact on the discounted profit. First, on the yield, after the first year of implementation of the practice, we observed a time of return to production of the vines to their full potential, during which the yield without the implementation of the practice was higher. This time varies according to the practice, the severity of the Esca and the effectiveness of the practice. However, after this time lapse, we observed a significantly higher yield with the implementation of curative practices. Second, according to the discounted profit, we also considered the cost incurred at the beginning of the period for the implementation of the practice. Thus, in the short-term, the practices did not seem to be economically profitable for the winegrower (Figures 3.1 and 3.3). In contrast, when we evaluated the long-term impact with the cumulative discounted profit, we noted that the investment in these curative practices was clearly more economically profitable for the winegrower, especially under the assumptions of high or medium severity of the Esca disease on the plot. The results also showed that the lifespan of the plot remains quite close to the lifespan without action. But the results could be different if the winegrower had decided to pull up a plot for any reason before the 40th year.

#### ► Comparison of practices according to the Esca severity on the plot

The severity of Esca on the plot appears in our results as an important factor for the profitability of the practice, especially for the practice of curettage. Our results showed that, under the hypothesis of a low severity of Esca at the plot level, it was clearly not advantageous for the winegrower to implement the practice of curettage every year. It even appeared more profitable for the winegrower to do nothing than to implement curettage when the effectiveness of the latter was also low. However, under this low severity of Esca, the complantation remains more economically profitable than the decision to do nothing. It was therefore more interesting for the winegrower in this case to implement the practice of complementation. On the other hand, when the severity of Esca was high, it was always more advantageous for the winegrower to implement one or the other of the practices studied than to do nothing. Then, the practice of curettage appeared to be more profitable for the winegrower than that of complantation. We have noted from these results the importance of the real perception of the severity of the disease for the winegrower in the choice of the practice. In other words, knowledge of the extent of the

disease at the plot level should be an important factor for the winegrower in his choice or not of curative practice. Winegrowers must therefore have a good perception of the severity of Esca on their plot to make the most profitable choice for their business.

► **Training, an important factor for the profitability of practices**

The efficiency of the practice is also important. Table 3.12 showed that the difference between high and low efficiency for a practice was always positive. This impact was greater the higher the efficiency of the practice and the severity of the disease at the plot level. The gain was always higher at high efficiency, but not so much except for a high severity (especially for curettage). This tends to show the importance of the training and skills of the winegrowers when they decide to adopt a certain practice. Indeed, as several studies in the literature have shown, learning is a very important factor in the process of adopting a new practice in the agricultural sector (Hobbs et al., 2022; Kumar et al., 2018; Zossou et al., 2020). Training the winegrowers is then necessary to take them to obtain the best of the practice and to reach the expected economic objectives. We didn't explicitly take into account the cost of training winegrowers in the overall profitability of the practice. This could be done in a further model as an enrichment of this study.

► **The wine range effect : regional heterogeneity**

The analysis of three wine PDOs allowed us to take into account the heterogeneous effect of the different specifications, but above all to analyse the wine range effect through the selling price. By examining the results of the different wine regions, we observed a higher profitability in the Pauillac region. This can easily be explained by the range of wines produced and the reputation of the region, with higher prices per hl for the wines. However, when we analysed the results from the Entre-deux-Mers region, we noted that the practices were less profitable under the assumption of a low severity of Esca on the plot. For example, the practice of curettage was clearly not profitable in this region regardless of the efficiency of this practice. This was not the case in the other two regions. When the efficiency of curettage is high, the practice becomes profitable for the winegrower even if the severity of Esca on the plot is low, for the regions of Pauillac and Cognac cru Fins Bois. The selling price factor therefore appears to be very important for the winegrower to ensure a good return on his investment in the adoption of these practices. It makes us come to the idea that a decision tool configured with specific

regional data and relying on such a model could help the producers to take the best decision.

► **Perspective : toward a more accurate economic decision model**

Several elements can be retained for the improvement of our bioeconomic model. First, in the biological module, we considered a deterministic model concerning the evolution of the disease on the plot. Indeed, the spatial evolution, as well as the temporal development of Esca, have not yet been modelled in the literature and have not been included in the model. The introduction of a more stochastic epidemiological model of the Esca disease would allow us to get closer to the reality in the field and to obtain more robust results. Then, in the economic module, we have highlighted several factors that could improve the understanding of the process of adoption of a practice by the winegrower. Indeed, even if it is very important for farmers, in general, to know the economic profitability of the practices to be adopted, we note, through literature studies, that this is probably not the only factor that could influence the decision process for the adoption of curative practice. Their perception of risk and uncertainty would inevitably influence their behaviour. Finally, in the uncertain context with such a disease, the risk behaviour of the winegrower would also likely influence their decision to adopt curettage and/or complantation. Taking this additional factor into account would enrich our model ([Pažek & Rozman, 2009](#); [Riaman et al., 2021](#); [Webster, 1977](#)).

### 3.7 Conclusion

These results contributed to a better understanding of the economic impact of adopting curative practices to fight against Esca in vineyards in the long-term. In case of low severity of the disease, the best decision was taking no action as the simulated profits were quite low compared to the period considered (vineyard lifespan). Then, we showed that the implementation of curative practices as curettage and complantation remained economically profitable in all the wine regions considered (South-West of France) as soon as the severity was medium or high. The curettage was more profitable than complantation whatever the efficiency of the practice considered.

## Appendix

$$\left. \begin{array}{l}
 \textbf{High efficiency} \\
 \textit{if } Tx_t < 5\% \\
 AS_{t_s} = AS_{t-1} - \beta_s AS_{t-1} - \delta_s AS_{t-1} + as_{t-5} \\
 M_{t_s} = \alpha_s S_{t-1} + \delta_s AS_{t-1} + M_{t-1} \\
 S_{t_s} = \beta_s AS_{t-1} - \alpha_s S_{t-1} + S_{t-1} \\
 yp_{t_s} = yp_{t-1} - as_{t-5} \\
 as_t = 0 \\
 \textit{if not} \\
 \textit{if } t > 30 \textit{ years} \\
 AS_{t_s} = AS_{t-1} - \beta_s AS_{t-1} - \delta_s AS_{t-1} + as_{t-5} \\
 M_{t_s} = \alpha S_{t-1} + \delta AS_{t-1} + M_{t-1} \\
 S_{t_s} = \beta_s AS_{t-1} - \alpha_s S_{t-1} + S_{t-1} \\
 yp_t = yp_{t-1} - as_{t-5} \\
 as_t = 0 \\
 as2_t = as_t \\
 \textit{if not} \\
 \textit{si } t > 25 \textit{ years} \\
 AS_{t_s} = AS_{t-1} - \beta_s AS_{t-1} - \delta_s AS_{t-1} + as_{t-5} \\
 M_{t_s} = \alpha S_{t-1} + \delta AS_{t-1} + M_{t-1} \\
 S_{t_s} = \beta_s AS_{t-1} - \alpha_s S_{t-1} + S_{t-1} \\
 yp_{t_s} = yp_{t-1} - as_{t-5} \\
 as_{t_s} = \alpha_s S_{t-1} + \delta_s AS_{t-1} \\
 as2 = 0 \\
 \textit{if not} \\
 \textit{si } t \geq t_c + 5 \\
 AS_{t_s} = AS_{t-1} - \beta_s AS_{t-1} - \delta_s AS_{t-1} + as_{t-5} \\
 M_t = 0 \\
 S_t = \beta_s AS_{t-1} - \alpha_s S_{t-1} + S_{t-1} \\
 yp_{t_s} = \alpha_s S_{t-1} + \delta_s AS_{t-1} + yp_{t-1} - as_{t-5} \\
 as_{t_s} = \alpha_s S_{t-1} + \delta_s AS_{t-1} \\
 as2_t = as_t \\
 \textit{if not} \\
 AS_{t_s} = AS_{t-1} - \beta_s AS_{t-1} - \delta_s AS_{t-1} \\
 M_t = 0 \\
 S_{t_s} = \beta_s AS_{t-1} - \alpha_s S_{t-1} + S_{t-1} \\
 yp_{t_s} = \alpha_s S_{t-1} + \delta_s AS_{t-1} + yp_{t-1} \\
 as_{t_s} = \alpha_s S_{t-1} + \delta_s AS_{t-1} \\
 as2_{t_s} = as_{t_s}
 \end{array} \right\} \text{or} \left\{ \begin{array}{l}
 \textbf{Low efficiency} \\
 \textit{if } Tx_t < 5\% \\
 AS_{t_s} = AS_{t-1} - \beta_s AS_{t-1} - \delta_s AS_{t-1} + as_{t-9} \\
 M_{t_s} = \alpha_s S_{t-1} + \delta_s AS_{t-1} + M_{t-1} \\
 S_{t_s} = \beta_s AS_{t-1} - \alpha_s S_{t-1} + S_{t-1} \\
 yp_t = yp_{t-1} - as_{t-9} \\
 as_t = 0 \\
 \textit{if not} \\
 \textit{if } t > 34 \textit{ years} \\
 AS_t = AS_{t-1} - \beta_s AS_{t-1} - \delta_s AS_{t-1} + as_{t-9} \\
 M_{t_s} = \alpha S_{t-1} + \delta AS_{t-1} + M_{t-1} \\
 S_{t_s} = \beta_s AS_{t-1} - \alpha_s S_{t-1} + S_{t-1} \\
 yp_{t_s} = yp_{t-1} - as_{t-5} \\
 as_t = 0 \\
 as2_{t_s} = as_{t_s} \\
 \textit{if not} \\
 \textit{if } t > 25 \textit{ years} \\
 AS_{t_s} = AS_{t-1} - \beta_s AS_{t-1} - \delta_s AS_{t-1} + as_{t-5} \\
 t_s = \alpha S_{t-1} + \delta AS_{t-1} + M_{t-1} \\
 S_{t_s} = \beta_s AS_{t-1} - \alpha_s S_{t-1} + S_{t-1} \\
 yp_{t_s} = yp_{t-1} - as_{t-5} \\
 as_{t_s} = \alpha_s S_{t-1} + \delta_s AS_{t-1} \\
 as2_t = 0 \\
 \textit{if not} \\
 \textit{si } t \geq t_c + 9 \\
 AS_{t_s} = AS_{t-1} - \beta_s AS_{t-1} - \delta_s AS_{t-1} + as_{t-5} \\
 M_t = 0 \\
 S_{t_s} = \beta_s AS_{t-1} - \alpha_s S_{t-1} + S_{t-1} \\
 yp_{t_s} = \alpha_s S_{t-1} + \delta_s AS_{t-1} + yp_{t-1} - as_{t-5} \\
 as_t = \alpha_s S_{t-1} + \delta_s AS_{t-1} \\
 \textit{if not} \\
 AS_{t_s} = AS_{t-1} - \beta_s AS_{t-1} - \delta_s AS_{t-1} \\
 M_t = 0 \\
 S_{t_s} = \beta_s AS_{t-1} - \alpha_s S_{t-1} + S_{t-1} \\
 yp_{t_s} = \alpha_s S_{t-1} + \delta_s AS_{t-1} + yp_{t-1} \\
 as_{t_s} = \alpha_s S_{t-1} + \delta_s AS_{t-1} \\
 as2_{t_s} = as_{t_s}
 \end{array} \right\} \quad (3.13)$$

with  $yp_{t_s}$  the number of young plants at date  $t$  and for severity  $s$ ,  $as_t$  the number of young plants.

TABLE 3.13 – Cumulative net present value for age 40 according to the different scenarios – Monte Carlo 6000 simulations (€/ha) – PDO Pauillac (LE : low efficiency ; HE : high efficiency)

Efficiency	Severity	Min NVP	Mean NVP	Median NVP	Max NVP	SdNVP
	No esca	1,181,770.8	1,279,828.9	1,279,592.9	1,377,537.3	34,563.6
No action	Low Severity	1,122,084.5	1 218 748.1	1,218,444.2	1,314,902.9	33,988.2
	Medium Severity	880,037.2	971,387.3	971,428.3	1,062,496.9	32,148.2
	High Severity	650,813.1	729,922.5	729,952.7	811,027.2	30,819.7
Complantation (LE)	Low Severity	1,127,540.7	1,224,161.2	1,223,842.0	1,320,592.4	34,072.0
	Medium Severity	968,182.7	1,059,339.0	1,059,158.4	1,150,554.0	32,596.4
	High Severity	805,277.2	891,104.4	891,108.9	976,615.1	31,469.8
Complantation (HE)	Low Severity	1,131,133.3	1,227,528.7	1,227,178.4	1,324,173.4	34,083.8
	Medium Severity	975,705.6	1,067,217.7	1,067,021.8	1,158,039.0	32,654.0
	High Severity	824,273.3	912,212.7	912,302.1	998,393.5	31,603.3
Curettage (LE)	Low Severity	1,115,304.3	1,212,364.3	1,212,001.5	1,307,943.1	33,996.8
	Medium Severity	969,876.4	1,064,271.9	1,064,090.9	1,155,127.4	32,715.6
	High Severity	831,412.9	923,295.2	923,504.8	1,012,356.3	31,927.3
Curettage (HE)	Low Severity	1,123,565.4	1,221,064.1	1,220,621.7	1,316,883.9	34,074.3
	Medium Severity	1,007,374.7	1,102,721.3	1,102,631.4	1,195,012.6	33,135.2
	High Severity	893,937.3	987,084.9	987,319.3	1,077,746.4	32,327.5

TABLE 3.14 – Cumulative net present value for age 40 according to the different scenarios – Monte Carlo 6000 simulations (€/ha) – PDO Cognac Cru Fins Bois (LE : low efficiency ; HE : high efficiency)

Efficiency	Severity	Min NVP	Mean NVP	Median NVP	Max NVP	SdNVP
	No esca	458,874.4	614,397.9	614,023.6	769,367.0	54,819.0
No action	Low Severity	431,743.4	585,055.3	584,573.3	737,560.2	53,906.5
	Medium Severity	336,496.5	484,092.7	483,870.9	627,531.9	51,235.5
	High Severity	233,112.5	361,106.8	360,921.7	492,449.4	49,146.6
Complantation (LE)	Low Severity	434,308.9	587,666.3	587,199.8	740,546.8	54,039.1
	Medium Severity	371,188.3	516,932.0	516,691.3	663,104.3	52,049.9
	High Severity	299,693.9	434,125.9	434,178.4	570,273.4	49,898.4
Complantation (HE)	Low Severity	436,284.7	589,284.9	588,726.3	742,503.9	54,057.8
	Medium Severity	376,398.4	522,621.1	522,597.6	668,866.8	52,176.7
	High Severity	305,321.3	443,552.6	443,609.4	580,896.6	50,100.4
Curettage (LE)	Low Severity	428,919.5	582,350.0	581,883.2	734,521.5	53,905.0
	Medium Severity	371,967.9	520,398.3	520,146.6	666,713.2	52,224.9
	High Severity	307,309.0	450,663.2	450,323.9	589,629.8	50,513.7
Curettage (HE)	Low Severity	432,400.8	586,527.2	585,983.2	739,080.9	54,027.9
	Medium Severity	380,054.7	530,110.3	529,813.0	677,385.9	52,496.8
	High Severity	329,622.0	475,560.1	475,477.6	617,500.4	51,244.9

TABLE 3.15 – Cumulative net present value for age 40 according to the different scenarios – Monte Carlo 6000 simulations (€/ha) – PDO Entre-deux-Mers (LE : low efficiency ; HE : high efficiency)

Efficiency	Severity	Min NVP	Mean NVP	Median NVP	Max NVP	SdNVP
	No esca	227,363.5	253,455.0	253,392.2	279,453.5	9,196.7
No action	Low Severity	215,637.0	241,357.4	241,276.6	266,942.5	9,043.6
	Medium Severity	168,058.4	192,365.0	192,375.9	216,607.6	8,554.1
	High Severity	123,494.6	144,544.2	144,552.2	166,124.7	8,200.6
Complantation (LE)	Low Severity	216,664.3	242,336.2	242,262.7	268,015.3	9,066.1
	Medium Severity	184,426.7	208,262.5	208,193.1	232,426.7	8,682.5
	High Severity	147,891.1	170,780.6	170,757.4	193,621.4	8,422.9
Complantation (HE)	Low Severity	217,391.2	243,003.2	242,900.2	268,739.1	9,069.2
	Medium Severity	185,899.2	209,815.7	209,747.6	233,873.4	8,697.9
	High Severity	151,338.5	174,774.4	174,775.2	197,816.3	8,461.2
Curettage (LE)	Low Severity	211,002.4	236,994.3	236,921.4	262,381.1	9,055.2
	Medium Severity	178,446.9	203,943.9	203,919.5	228,889.4	8,746.7
	High Severity	146,071.8	171,453.7	171,527.1	196,619.6	8,618.1
Curettage (HE)	Low Severity	212,608.6	238,717.2	238,618.3	264,178.6	9,075.8
	Medium Severity	185,808.6	211,558.7	211,549.1	236,886.2	8,857.9
	High Severity	158,139.7	184,087.9	184,146.1	209,679.6	8,723.2

## Decision-making under yield risk and disease uncertainty : the case of adopting curative practices against Esca

Submitted in *Agricultural and Resource Economics Review*

### Abstract

An increased incidence of grapevine trunk diseases (GTDs) over the past 10 - 15 years has been reported worldwide. Yield losses from Esca, the main GTD affecting grape vines in France, are estimated at 4.6 hl/ha/year in 2014. Despite the threat, winegrape growers are reluctant to adopt field-tested preventive and curative practices. This hesitancy may be the result of uncertainty about the disease severity or unfavorable economic consequences. We develop a decision model to analyze the adoption of curative practices based on risk preferences. To do so, we first generate data using an epidemiological-economic model for Esca infection. We run simulations for representative vineyards for three denominations of origin in the South-West of France (PDOs Pauillac, Cognac cru Fins Bois, and Entre-deux-Mers) and for two curative practices (curettage and complantation). Within this combined nature-human model, we analyze whether risk preferences influence the grower's decision to adopt a curative practice. We also evaluate the benefits to investing in greater practice efficiency within this framework. The results indicate the decision to adopt mostly favors curettage over complantation and doing nothing, for a risk-averse winegrape grower. For a risk-neutral or risk-taking winegrape grower, however, the best decision is complantation. We also find that there are substantial economic benefits over a vineyard's lifespan when switching from low to high practice efficiency, regardless of appellation. The lack of adoption of these practices on the field despite these results suggests non-economic factors are likely discouraging farmers from adopting curative practices or a lack of knowledge about the economic gains that may exist. Providing farmers with evidence of the economic benefit could lead to greater adoption, profits, and a more sustainable wine industry.

**Keywords** : Decision-making ; Uncertainty ; Risk ; Epidemiologic-economic model ; Grapevine trunk disease ; Esca ; Curative practices

## 3.8 Introduction

Agricultural production has and continues to face significant risks from climatic hazards and biological invasions (Schriecks et al., 2021 ; Hertzler et al., 2014 ; Norton & Conway, 1977). Environmental protections over the recent past have limited the options farmers have to minimize these risks coupled with the need to meet consumer quality expectations and concerns about impacts to selling prices (Hardaker et al., 2004). The adaptation of their practices appears to be a necessity in order to ensure competitiveness and to minimize losses in the long run (Azadi et al., 2019). The natural phenomena (For example, hail and frost) , which are difficult to predict, increase the risk of investment in the sector, as it becomes difficult to assess the profitability of an investment. In addition, the lack of statistical information on the probability of occurrence of events creates a partial or total uncertainty that seriously affects the decisions that farmers must make to adapt to these variations (Godfray et al., 2010 ; Dury, 2011 ; Schriecks et al., 2021). In such a context of risk and uncertainty, farmers must make decisions based on their subjective risk, that is strongly influenced by their attitude toward risk (Azadi et al., 2019 ; Shang & Yang, 2021). Risk behavior is therefore a key point to better understanding how farmers adapt their strategies and adopt new practices (Enström & Eriksson, 2018). In this paper, we use decision theory to evaluate how risk preference influence the decision to adopt curative practices to managing grapevine trunk diseases (GTDs) and Esca, in particular, which significantly affect winegrape production across France and throughout winegrape production regions worldwide (Kenfaoui et al., 2022).

An increased incidence of GTDs in vineyards over the past 10-15 years has been reported worldwide (Fontaine et al., 2016 ; Guerin-Dubrana et al., 2019), threatening grape production, which is one of the world's most economically valuable fruit crops (Alston & Sambucci, 2019). Previous estimates for the annual worldwide cost from GTDs is approximately one billion euros/year (Hofstetter et al., 2012 ; Bruez et al., 2015). In France, more specifically, yield losses attributable to Esca have been estimated to be as large as 4.6 hectoliter (hl)/ha/year

(Bruez et al., 2013) and higher vine mortality attributable to GTDs (Darriaut et al., 2021). In 2012, 13.2% of French vineyards were declared unproductive (Fontaine et al., 2016; Doublet & Grosman, 2018) and According to Xavier de Volontat, President of FranceAgrimer's Research and Development Committee in 2015, between 3 to 5 million hl of wine and spirits were lost annually due to GTDs (Quéré et al., 2015; Agreste, 2018). Making matters worse, when yield losses from GTDs exceed 5%, evidence indicates a decline in wine quality (Jourdes, 2015).

The GTD of main concern in France is Esca, which infects a vine's vascular system with multiple fungal pathogens (Bruez et al., 2013). The main challenge with GTDs is long latency period between infection and appearance of symptoms. Symptoms typically do not appear until vines are 8 to 10 year old (Cholet et al., 2021), at which point preventative practices are limited (Kaplan et al., 2016). Also, leaf symptoms can appear and disappear from year to year for individual vines (Li et al., 2017), making the sequence of symptoms difficult to observe, leading to challenges for plant pathologists to estimate epidemiological models that could allow winegrape growers to track the evolution of the disease and its impact on yield and profits. The winegrape growers had historically used sodium arsenite, one of the most effective products to control the expression of Esca symptoms. However, it was banned in France in 2001 due to its toxicity, prompting a search for alternative methods to manage Esca (Mondello, Larignon, et al., 2018).

Recent studies have identified or evaluated the use of preventative and curative practices to manage GTDs. Gramaje et al. (2018); Baumgartner et al. (2019); Hillis et al. (2017); Gispert et al. (2020) evaluate the benefits of preventative practices like early pruning or the use of wood protectant after pruning, showing their effectiveness against the GTD eutypa-dieback. Other studies (Thibault, 2015; De Montaignac, 2019; Cholet et al., 2021) evaluate curative practices once GTDs are observed in a vineyard. Curative practices, such as curettage and complantation, although not 100% effective against GTDs (De Montaignac, 2019), they may also provide effective strategies to control GTDs (Thibault, 2015; Cholet et al., 2021).

Curettage, a long-standing cultural practice, involves removing infected woody tissue from the arms and trunks of symptomatic vines with a chainsaw. This operation mechanically mimics the action of sodium arsenite, which blocks the expression of Esca symptoms by limiting the development of pathogens present in the wood tissue (Stef, 2017). Complantation consists of

uprooting sick vines and replacing them with new plants as they die. Young and old plants thus cohabit in the same plot. It can be difficult to perform and success is not guaranteed. It is a costly process to maintain the young vines before they come to production (Prigent, 2004) and profitability of the plot must justify such an investment. Our experience during interviews with growers suggests that these practices are not widely used in France despite the risk of Esca in winegrape production, especially concerning curettage. The uncertain nature and the long latency period of the disease likely contribute to reluctance to adopt field-tested practices (Hobbs et al., 2022).

Given this reluctancy, we examine, in this study, the winegrape growers decision to implement or not a curative practice (curettage or complantation) based on their risk preference to determine if risk preferences are, in part, responsible for the lack of adoption. To the best of our knowledge, no economic study evaluates the costs and benefits of these practices or uses decision theory to examine adoption decisions in such a risky context.

In our analysis, we use an epidemiological-economic simulation model to generate yield, cost, and profit data on the evolution of varying disease severities and practice scenarios. The epidemiological module captures the evolution of Esca based on Guérin-Dubrana et al. (2013), the agronomic module calculates the impact of the disease on the yield following from Cholet et al. (2021) and the economic module captures the economic profitability through the net present value across the different scenarios. Moreover, winegrape production throughout France is heterogeneous in prices, yields, appellation requirements, and protected denominations of origin (PDO). To capture this heterogeneity, we perform model simulations for three different wine PDOs (Entre-deux-Mers, Pauillac and Cognac) in the South-West of France. After simulating winegrape production for different scenarios, we obtain a matrix of gains we then use to determine winegrape growers preferred decisions for different risk preferences, different disease severities, practice efficiencies, and across variations in practice costs and selling prices.

Our results indicate that curettage and complantation increase profits compared to taking no action, except in the case of low disease severity and low curettage efficacy. This occurs because when Esca severity is high, yield losses are sufficient to makes investment in practices more profitable, but under low disease severity, yield losses are minimal, making investment in practices at the plot level less profitable than the situation without action. The article also highlights the

economic value of improved practice efficacy. We observe that a high level of practice efficiency leads to substantial gains. For example, in a situation of high severity of the Esca disease, an additional mean cumulative gain of 11,993 €/ha for PDO Entre-deux-Mers ; 76,126 €/ha for PDO Pauillac and 36,764 €/ha for PDO Cognac cru Fins Bois with the practice of complantation. With the curettage practice we obtain an additional mean cumulated gain of 12,635 €/ha for PDO Entre-deux-Mers ; of 63,790 €/ha for PDO Pauillac and of 24,897 €/ha for PDO Cognac cru Fins Bois. The decision analysis reveals that risk preferences influence the adoption decision of winegrape growers. Although winegrape grower' decisions vary according to risk behaviour, it is noted that the best decisions are generally to invest in practices (complantation or curettage) rather than to do nothing.

In the next section, we review the literature on decision theory under uncertainty. Section 3 provides details on the epidemiological-economic model. Section 4 details the methodology used for decision criteria to evaluate adoption for each risk preference. Section 5 presents the results, highlighting the preferred practice for each risk preference. Finally, Section 6 concludes with lessons learned from the analysis and thoughts on future research.

### 3.9 Decision theory, choice criteria, and risk preference

Agricultural economics has, for a long time, taken a great interest in the management of phytosanitary risks and pesticide use (Feder, 1979 ; Horowitz & Lichtenberg, 1994 ; Mekonnen & Agonafir, 2002). Many empirical applications have shown rather heterogeneous results on farmers' risk behavior, partly due to the heterogeneity of contexts (Kumbhakar & Tveterås, 2003 ; Chouinard et al., 2008 ; Guan & Wu, 2017). Depending on the issues considered, it remains difficult to understand the behavior of economic agents facing risk or uncertainty. The great effectiveness of pesticides resulted in abundant literature in the 1970s and 1980s on the optimization of the use of these inputs (determination of intervention thresholds, management of phytosanitary protection), then on their reduction with less interest in alternative practices (Feder, 1979 ; Horowitz & Lichtenberg, 1994 ; Mekonnen & Agonafir, 2002). however, makes it possible to go beyond this framework to try to better model and understand the behavior and decisions of economic agents in situations of risk and uncertainty. Decision theory, which we

use as a basis for our analysis, has the advantage of integrating risk and uncertainty into the analysis of decision-making, as opposed to a simple cost-benefit analysis (Rieman et al., 2021).

The literature on decision-making regarding the adoption of new agricultural practices has a long history and considers the risky and uncertain nature of the sector (i.e., with respect to climate change, pests, wood diseases, abiotic and biotic stresses). For example, Carlson (1970) investigates the pesticide application practices of California peach farmers who have to manage peach brown rot disease. He uses Bayesian decision theory to determine the optimal control practices for these diseases and shows that taking into account the expected losses due to the disease could reduce pesticide use, the resulting social cost, and allow farmers to better compare the benefits and costs from pesticides use. He finds that when the loss forecast is estimated between 0-5% no pesticide should be applied. Next, Norton (1976) analyzes the potato cyst eelworm and potato blight problem and shows that the farmers' decision to protect a crop from pest attacks is influenced by four main factors: the farmer's objectives, his perception of pest trends and potential losses, and the ease and effectiveness of implementation of available control measures. Webster (1977) then focuses on wheat farmers' management decisions to use pesticides and analyzes the risk decision process, illustrating the subjective nature of the risky decision. He uses Bernoullian decision theory to maximize the utility of the sample of farmers and shows that consideration of subjective probability is critical to selecting an optimizing spray strategy among wheat farmers. These prior studies on farmers' decisions facing risk and uncertainty highlight the impact of subjective risk and the role of the nature of farmers' risk behavior in their decision-making. However, these studies do not simultaneously analyze and compare the decision according to different possible farmers' behavior facing risk and uncertainty.

In this study, we are particularly interested in non-probabilistic decision criteria. In a risky situation, the calculation of the objective probability of occurrence of an event is based on the frequency of the occurrence of this event in time and space. But in a situation of uncertainty, the decision-maker is unable to calculate the probabilities associated with the occurrence of the consequences of his decision (Brady, 2018; Keshavarz-Ghorabae, 2021). When managing a vineyard, it is impossible for the farmers to identify the distribution of Esca development and to objectively calculate the different probabilities of occurrence as it is only a risky situation with associated probabilities. They therefore face a situation of risk and uncertainty. In such

situations, [Keynes \(1921\)](#), [Ramsey \(1931\)](#) and [Savage \(1954\)](#), for instance, suggest analyzing this uncertainty by relying on the theory of probabilities and hence the notion of subjective theory or perceived probabilities. In the absence of an objective function, they propose using a subjective function based on choice criteria.

More recent studies have accounted for this consideration in the case of other agricultural sectors but not for biological control. For example, [Şanin \(2008\)](#) analyzes the optimal livestock feeding decision that would maximize the farms' net profit under risk and uncertainty. The analysis is performed according to different breeder characteristics (risk behavior) using choice criteria derived in a game-theoretical framework set forth in [Neumann et Morgenstern \(1944\)](#). The results reveal that the decisions of the breeders differ according to their behavior in the face of a risky decision. Also, [Pažek et Rozman \(2009\)](#) study decision-making under uncertainty and use the choice criteria method of decision theory applied to a case study involving the production and sale of pumpkin oil. Their results indicate the importance of uncertainty in decision-making, particularly in food production and processing. [E. Silva et al. \(2015\)](#) examine the objectives and priorities of the decisions of dairy farmers in the Azores using a decision model based on multicriteria models. Their results show that in each group of Azorean dairy farms surveyed, the decision-making process appears to be influenced by profit maximization, labor seasonality, and risk minimization. More recently, [Setyowati et al. \(2021\)](#) also use the choice criteria method to analyze horticulturists' decision-making in determining the best horticultural products to plant based on their behavior and attitude toward agricultural risk. Their results show that potato farmers are both optimists and pessimists. [Schrieke et al. \(2021\)](#) then model behavioral theories to assess decision-making when facing drought risks. They use an agent-based model and show that human decision rules in agent-based models of drought risk are often based on unverified ad hoc assumptions.

All these studies underline the necessity of including different risk behavior that the farmers can express when investigating their decision-making process in the presence of uncertainty. Knowing that Esca is difficult to detect and can have a negative impact on yield and the longevity of a plot, winegrape growers are uncertain as to whether they may reach the target yield fixed by the PDO. If they do not reach this limit, they are facing a risk of downgrading (meaning a lower price paid for their harvest) and therefore a negative impact on the reputation

of the vineyard ([Fassier-Boulanger, 2020](#)). It is not to say that winegrape growers are unaware of the negative impact that Esca can have on their vineyard, in terms of volume produced, quality and longevity, but that it is difficult for them to speculate on the evolution of the disease and accurately quantify the possible yield and profit losses given limited biologic or epidemiologic modelling of this disease in the scientific literature.

## 3.10 Epidemiological-economic model

We use an epidemiological-agronomic-economic simulation model to generate yield, cost, and profit data on the evolution of varying disease severities and practice scenarios. The idea is to overcome the lack of data on the yield and profits of the winegrape growers who face Esca over a vineyard's lifespan. To do so, we used experimental data and equations from [Li et al. \(2017\)](#), [Guérin-Dubrana et al. \(2013\)](#), [Lecomte et al. \(2022\)](#) and [Cholet et al. \(2021\)](#) to obtain a matrix of gains. This simulation model was first developed in [Konan et al. \(2023\)](#). The epidemiological module captures the evolution of Esca based on [Guérin-Dubrana et al. \(2013\)](#), the agronomic module calculates the impact of the disease on the yield following from [Cholet et al. \(2021\)](#) and the economic module captures the economic profitability through the net present value across the different scenarios.

### 3.10.1 Model design

The model is composed of three modules to reflect the interaction of Esca, the vines, and the winegrape grower. An epidemiology module captures the evolution of the Esca disease within a plot, in which three pools of vines are defined according to their sanitary status. Thus, each year, using the notation from [Lecomte et al. \(2022\)](#), a percentage of asymptomatic vines ( $AS$ ) expresses symptoms for the first time and move into the pool of symptomatic vines ( $S$ ), a percentage of asymptomatic vines ( $AS$ ) is affected by the apoplectic form<sup>4</sup> and moves into the pool of dead vines ( $M$ ), and finally, a percentage of vines that have already expressed symptoms ( $S$ ) die ( $M$ ). The incidences observed in the field can be very heterogeneous. Three levels of disease severity, "low," "medium," and "high," were defined based on data from [Guérin-Dubrana](#)

---

4. The apoplectic form of the vine is characterized by a very rapid defoliation of the vine in about 3 to 5 days.

et al. (2013) and Li et al. (2017). Lecomte et al. (2022) estimate the equations for movement of vines from  $AS$  to  $M$ ,  $AS$  to  $S$ , and  $S$  to  $M$  under curettage or with no action as Esca grows within vines and across the vineyard (See Supplemental materialsA, Table 1 and Table 2). We use these estimated equations to parameterize the interaction between practices and the epidemiology module.

The agronomic module integrates the effect of Esca on yield (Cholet et al., 2021). In this module, the effects from three scenarios are considered. First, we estimate the effect on yield for each vine, depending on its health status, for no action, for curettage and for complantation. Table A.3, A.4 and A.5 in the supplemental materials lists the yield parameters for the different practice scenarios and disease severity levels. Then, we calculate the net present value (NPV) of profits when the winegrape grower adopt curettage, complantation, or take no action, for the three disease severity states (low, medium, and high) and efficiency of the practice (low and high), and the limited yield fixed by the PDO.

For each scenario, we simulate Esca spread starting when the vineyard is first planted, and then evaluate Esca effects starting in year 9 when symptoms first appear (Cholet et al., 2019; Lecomte & Darrieutort, 2014) and then over the next 30 years of the vineyard's productive lifespan (we consider 40 years old as the average vineyard lifespan following from Lecomte et al. (2022)). After simulating the evolution of the Esca disease in the vineyard over 30 years, we derive the yield produced in each year for each scenario. The different appellations (PDO Entre-deux-Mers, PDO Pauillac and PDO Cognac cru Fins Bois) have different specifications in terms of minimum initial density at the plot level, percentage of missing grapes authorized on the plot, maximum authorized yield (Target yield) and selling price of the wine produced. The specific requirements are shown in Tables B.6, B.7 and B.8 in the supplemental material. We model the yield produced by the equation 3.14.

$$Yield_{ts} = Ry (\rho_{AS} AS_s + \rho_S S_s + \rho_M M_s) \quad (3.14)$$

With  $Ry$ , the contribution of a vine to the yield, where  $Ry = \frac{\text{Target yield}}{\text{Initial density}}$ ;  $\rho$  is the proportion of the vine's yield according to its status:  $\rho_{AS}$  for asymptomatic vines,  $\rho_S$  for symptomatic vines and  $(\rho_M)$  for dead vines (Supplemental Materials A, table 4 and 5).

The criteria for selecting vines for curettage are based on two factors : the expression of symptoms and the age of the vine following results seen in [Cholet et al. \(2019\)](#). First, the vines show foliar symptoms but no apoplectic form between 10 and 25 years old. This age range is chosen because before 10 years of age, the diameter of the vine trunk is too small to carry out curettage without destroying live wood, which compromises the survival of the vine ([Lecomte et al., 2022](#)). In addition, once a vineyard is 25 years-old, vines may be too old to recover from curettage in good conditions to generate yields ([Lecomte et al., 2022](#)). Vines selected for complantation are those that have already died ([Techniloire, 2015](#); [Prigent, 2004](#)). In this study, it is assumed that complantation is implemented every year, when vines are between 10 and 25 years old, without constraint on the minimum mortality rate on the plot, contrary to the study from [Konan et al. \(2023\)](#), in which they put a constraint of 5% mortality for the implementation of the practice. Finally, the simulation evaluates the vineyards over 40 years period, 30 years after the appearance of the first symptoms as we note that the average life experience of a vineyard plot is 30 to 40 years ([J. Roby, Renouf, & Van Leeuwen, 2008](#)).

### 3.11 Methodology

To analyze the winegrape growers' decision-making process, we run a Monte Carlo simulation model and calculate the mean NPV when the winegrape grower implements each strategy (i.e., curettage, complantation, or no action). As mentioned earlier, the decision to adopt a practice or take no action is influenced by uncertainty about the severity of the disease and practice efficiency that are not under the winegrape growers' control. In such instances, the decision-makers' choice is based on their risk preference. We identify the preferred choice for risk neutral, risk-seeking, and risk averse winegrape growers using decision criteria taken from the literature. For the risk-neutral winegrape growers, we consider the Laplace and Bernoulli criteria. For risk-seeking winegrape growers, we use the Maximax criterion. The risk averse decision is based on the Maximin and Savage criteria.

### 3.11.1 Monte Carlo simulation

The yield estimates for each scenario are used to calculate the economic profitability of implementing curative practices and taking no action. We use a Monte Carlo model originally proposed by [Neumann et Morgenstern \(1944\)](#) to vary simultaneously the practice cost and selling price for the wine produced. The objective is to analyze the sensitivity of the variations of these variables on the profitability of each curative practice and taking no action, similar to the approach presented by [Atallah et al. \(2017\)](#). To capture the long term effect of implementing these practices, we calculated the cumulative net present value of profits (NPV) for each price and cost combination over a period going from year 3 (minimum age for the maturity of a vine) to year 40 (Equation 4.2).

$$\text{NPV}_{idse} = \sum_{t=3}^{40} \frac{\text{Yield}_{tdse} \times \text{Price}_{it} - \text{TotalCost}_{itdse}}{(1+r)^t} \quad (3.15)$$

For each simulation or variation  $i$ , year  $t$ , practice decision  $d$ , disease severity  $s$ , and practice efficiency  $e$ . We set  $r = 4\%$  as the discount rate.<sup>5</sup>

We calculate the minimum, mean, median, maximum and standard deviation of the cumulative NPV over the 40 years for each scenario from  $N = 6000$  simulations (Tables 3.25, 3.26, and 3.27). In determining the risk preference-based practice selection, we use the mean value for NPV across the  $N$  simulations ( see Equation 4.3).

$$\text{MeanNPV}_{dse} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \sum_{t=3}^{40} \frac{\text{Yield}_{tdse} \times \text{Price}_{it} - \text{TotalCost}_{itdse}}{(1+r)^t} \right) \quad (3.16)$$

For the unit practice cost, we use a range of [4€ /vine ;15€/vine] for curettage ([SICAVAC, 2018](#)) and complantation ([Prigent, 2004](#); [BIVB, 2017a](#)). To establish the range of variation in wine prices by region, we use data from FranceAgriMer for the Entre-deux-Mers PDO<sup>6</sup> (1988-2019) on average wine prices that range between 120 and 200 €/hL. For Pauillac, we use the data from the Prefecture of the Gironde<sup>7</sup> setting the annual wine prices over the period 2012-2019 between

5. The discount rate is based on the French legal interest rate of 2018 ([Banque de France, 2018](#)).

6. <https://www.franceagrimer.fr/Eclairer/Outils/VISIO-Donnees-en-ligne>.

7. <https://www.gironde.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Agriculture-viticulture-foret/Agriculture/ARRETES-PREFECTORAUX>.

800 and 1,100 €/hL . For the Cognac region, we use the price data for cognacs established by the CGO<sup>8</sup> over the period 2007-2018 for a range of between 125 and 340 €/hL.

### 3.11.2 The Decision of the risk-neutral winegrape grower

We evaluate the risk-neutral winegrape grower using the Laplace and Bernoulli criteria. Each ranks the outcomes from adopting curettage, complantation, or taking no action in descending order from best to worst decision. In the Laplace criterion, shown in equation 3.17, instead of objective probabilities for the different severity levels and practice efficiencies, the arithmetic mean of utility from each decision, where  $MeanNPV_{dse}$  represents the utility in each time period and uniformed weights are used across the profit outcomes (Laplace, 1812, 1820).

$$L_{de} = \frac{1}{S} \sum_s MeanNPV_{dse} \quad (3.17)$$

where  $S = 3$  denotes the number disease severity scenarios.

The Bernoulli criterion (Equation 3.18) uses the same method as Laplace, except that the utility function is the natural logarithm of  $MeanNPV_{dse}$  (Bernoulli, 1738) based on the hypothesis that the decision-maker, who is an economic agent, will increasingly prefer the utility of the gain rather than the gain itself. In addition, the logarithmic utility function exhibits diminishing marginal utility rather than constant marginal utility as in equation 3.17 with Laplace.

$$B_{de} = \frac{1}{S} \sum_s \ln(MeanNPV_{dse}) \quad (3.18)$$

Thus, in either case, the risk-neutral decision-maker will choose the practice with the highest  $L_{de}$  or  $B_{de}$ .

### 3.11.3 The Decision of the risk-seeking winegrape grower

The maximax criterion has been used in different literature studies for decision analysis (Ramli & Tein, 2017; Bouvier & Ornik, 2022). According to the Maximax criterion, developed

---

8. Comptabilité gestion océan : <https://www.cgocean.com/cgocean/Blog-CGO/Chiffres-cles>.

by Wald (1950), the winegrape grower adopts the decision that provides the greatest utility measured in  $MeanNPV_{dse}$ , in our case, as shown in equation 3.19.

$$Wmaximax_{dse} = Max(MeanNPV_{dse}) \quad (3.19)$$

The risk-seeking winegrape grower's decision will be determined by the practice or no action based on the greatest value for  $Wmaximax_{dse}$

### 3.11.4 The Decision of the risk-averse winegrape grower

When the winegrape grower is risk averse, decision theory tells us that he will evaluate the worst possible outcome for his decisions and then chooses the practice that minimizes the potential loss or maximize the minimal gain among the worst-case scenario.

The Maximin criterion is often used in classical statistics to make decisions under risk (Dyson, 1980; Denoeux, 2019; Etner et al., 2012; Pažek & Rozman, 2009). According to Wald (1950), the decision-maker will choose the option that will allow him to have the greatest minimal gain as defined in equation 3.20. In other words, the decision that maximizes the minimal gain.

$$Wmaximin_{dse} = Max(min(MeanNPV_{dse}), with d = 1...n) \quad (3.20)$$

The limitation of the different criteria developed thus far is that they are not very discriminating. For example, with the Wald criterion, the agent's decision is based solely on the minimum potential gain, so if the decision-maker finds himself in a situation where he has to choose between two projects whose minimum gains are equal, he will be indifferent to the two choices proposed. The criterion also does not propose an analysis of maximum gains insofar as the maximum gain of one project is greater than that of another.

As an alternative to the Wald criterion, Savage (1951) proposed a criterion assuming a cautious decision maker with a rather pessimistic behavior ranking decisions according to their maximum opportunity cost. In this situation, the decision-maker makes a choice based on anticipated regret. We first calculate the regret of each decision that corresponds the difference between the maximum profit according to the severity and the profit of the other decisions.

Then we compute the savage criterion of each decision which is the minimization of the largest regret according to the states of nature (disease severity). The winegrape grower then selects the practice that corresponds to the smallest regret. The decision maker minimizes the potential regret in the worst possible state, which is the high disease severity level. This regret is calculated as the difference between the gain in each scenario and the gain that would be obtained by applying another decision ( $d'$ ) for that same scenario (i.e., for each combination of severity  $s$  and efficiency  $e$ ) (Bell, 1982; A. K. Mishra & Tsionas, 2020). Equation 3.21 provides the regret calculation.

$$r_{dse} = \text{Max}(\text{MeanNPV}_{d'se} - \text{MeanNPV}_{dse}) \quad (3.21)$$

The decisions are ranked in an increasing manner based on equation 3.22.

$$R_d = \text{Min}(\text{Max}(r_{dse})) \quad (3.22)$$

The decision maker then chooses the practice with the smallest  $R_d$ .

## 3.12 Results and discussion

In this section, we present the economic results from the bioeconomic simulations for the different practice and disease severity scenarios considered in the Monte Carlo analysis. This is then followed by the preferred practice choices based on the different risk preference criteria outlined above. We present the results when winegrape growers' decision is based on their risk preference, first for risk-neutral winegrape grower, then for a risk-seeking winegrape grower and finally for a risk averse winegrape grower.

### 3.12.1 Profit across scenarios

The average cumulative discounted profits for each practice scenario by PDO and severity are provided in table 3.16. In all cases, curettage and complantation practices out-performed no action. Moreover, complantation outperforms curettage when disease severity is low or medium, while curettage generates greater MeanNPV than complantation when disease severity is high

(Table 3.16). Also, as would be expected, the net benefits from adopting curative practices increases with disease severity. When we compare profits between high and low efficiency of the implemented practice, we can observe potential gains from improving practice efficiency. The advantage of high efficiency are greater the more severe the severity as expected. We also observe that the difference in profits are greater the higher the disease severity level. We finally note that the cumulative NPV also depends on the PDO : the greater is the selling price, the more profitable is adopting curettage and complantation. With the PDO Entre-deux-Mers, when we consider a high severity of the disease, the difference in *MeanNPV* between high and low efficiency is respectively 12,635 €/ha, over 40 years, for the practice of curettage and 11,993 €/ha for the practice of complantation. With medium severity, the difference between high and low efficiency is 7,615 €/ha and 8,328 €/ha respectively for the practice of curettage and complantation . Finally, for a low severity, the difference in gains between the efficiencies is the lowest with 1,723 €/ha for curettage and 1,339 €/ha for complantation (Table 3.16).

With the PDO Pauillac, Which produces a higher range of wines than PDO Entre-deux-Mers, we note higher gains with the implementation of the practices. When we consider a high severity of the disease, the difference in *MeanNPV* between high and low efficiency is respectively 63,790 €/ha, over 40 years, for the practice of curettage and 76,126 €/ha for the practice of complantation. With medium severity, the difference between high and low efficiency is 38,449 €/ha and 49,490 €/ha respectively for the practice of curettage and complantation. Finally, for a low severity, the difference in gains between the efficiencies is the lowest with 8,700 €/ha for curettage and 8,649 €/ha for complantation (Table 3.16).

With the PDO Cognac cru Fins Bois, which produces a medium range, the gains obtained are higher than those of PDO Entre-deux-Mers but much lower than those of PDO Pauillac. When we consider a high severity of the disease, the difference in *MeanNPV* between high and low efficiency is respectively 24,897 €/ha, over 40 years, for the practice of curettage and 36,764 €/ha for the practice of complantation. With medium severity, the difference between high and low efficiency is 9,712 €/ha and 22,472 €/ha respectively for the practice of curettage and complantation. Finally, for a low severity, the difference in gains between the efficiencies is the lowest with 4,177 €/ha for curettage and 4,198 €/ha for complantation (Table 3.16). This result suggests that it is more advantageous for the winegrape grower to improve practice efficiency as

long as the cost of doing so does not exceed these efficiency gains.

TABLE 3.16 – Average cumulative discounted profits (€/ha) over 40 years with a 4% discount rate and 2018 euros for curettage, complantation, and no action practice scenarios and disease severity levels.

Region	Severity	Efficiency	<i>MeanNPV<sub>Complantation</sub></i>	<i>MeanNPV<sub>Curettage</sub></i>
PDO Entre-deux-Mers	Low Severity	High	243,708	238,717
		Low	242,369	236,994
		High-Low	1,339	1,723
		No action	241,357	
	Medium Severity	High	216,577	211,559
		Low	208,249	203,944
		High-Low	8,328	7,615
		No action	192,365	
	High Severity	High	180,642	184,088
		Low	168,649	171,453
		High-Low	11,993	12,635
		No action	144,544	
PDO Pauillac	Low Severity	High	1,236,209	1,221,064
		Low	1,227,560	1,212,364
		High-Low	8,649	8,700
		No action	1,218,748	
	Medium Severity	High	1,122,258	1,102,721
		Low	1,072,768	1,064,272
		High-Low	49,490	38,449
		No action	971,387	
	High Severity	High	979,202	987,085
		Low	903,076	923,295
		High-Low	76,126	63,790
		No action	729,922	
PDO Cognac cru Fins Bois	Low Severity	High	593,575	586,527
		Low	589,377	582,350
		High-Low	4,198	4,177
		No action	585,055	
	Medium Severity	High	550,339	530,110
		Low	527,867	520,398
		High-Low	22,472	9,712
		No action	484,093	
	High Severity	High	479,492	475,560
		Low	442,728	450,663
		High-Low	36,764	24,897
		No action	361,107	

### 3.12.2 Risk neutral adoption decision

The results using the Laplace criterion are presented in Table 3.17. They reveal that, regardless of region, practice efficiency level, and disease severity level, the preferred decision for the winegrape grower is to implement complantation, with average cumulative profits across the different possible severities of 206,422€/ha for PDO Entre-deux-Mers, 1,067,801€/ha for PDO Pauillac, and 519,990€/ha for PDO Cognac cru Fins Bois for low efficiency. Curettage is preferred to taking no action too with average cumulative profits of 204,131€/ha, 1,066,644€/ha, and 517,804€/ha for PDO Entre-deux-Mers, PDO Pauillac, and PDO Cognac cru Fins Bois, respectively (decision rank 2) for also low efficiency. With high efficiency, the decision ranking is the same with higher profits (Table 3.17).

Under this criterion, when a winegrape grower adopts complantation their additional MeanNPV relative to no action amounts to 13,666€/ha, 94,448€/ha, 43,238€/ha for PDO Entre-deux-Mers, PDO Pauillac and Cognac cru Fins Bois respectively, in a situation of low efficiency of complantation. When the efficiency is high, the winegrape grower see greater potential profits from complantation relative to no action of 20,887€/ha ; 139,203€/ha ; 64,383€/ha for PDO Entre-deux-Mers, PDO Pauillac and PDO Cognac cru Fins Bois, respectively.

A comparison of average MeanNPV across practice efficiency show significant differences. First, for the Entre-deux-Mers region, the winegrape grower who implements complantation can expect an average cumulative profit of 206,422€/ha for low practice efficiency and 213,643€/ha for high practice efficiency. Then, for the Pauillac region, complantation results in an average cumulative profit of 1,067,801 €/ha for low efficiency and 1,112,556€/ha for high efficiency. Finally, the winegrape grower in the Cognac cru Fins Bois region who adopts complantation, can expect to earn an average cumulative profit of 519,990€/ha for low efficiency versus 541,135€/ha for a high efficiency.

The preferred decisions using the Bernoulli criterion are nearly identical to those of the Laplace criterion. The only difference is that when practice efficiency is low, the Bernoulli criteria leads to curettage being preferred to complantation, however the difference in  $B_{dse}$  for these practices is negligible. Also, the decision to implement curettage or complantation is always preferred to no action in all scenarios. The potential gains under the Bernoulli criterion going

TABLE 3.17 – Decision-making with the Laplace criterion. Average cumulative profit across practice scenarios and disease severity levels over 40 years for curettage, complantation and no action(€/ha), using a 4% discount rate and 2018 euros.

Region	Efficiency	<i>MeanNVP</i>	Decision rank
PDO Entre-deux-Mers	Low complantation	206,422	1
	Low curettage	204,131	2
	No action	192,756	3
PDO Pauillac	Low complantation	1,067,801	1
	Low curettage	1,066,644	2
	No action	973,353	3
PDO Cognac cru Fins Bois	Low complantation	519,990	1
	Low curettage	517,804	2
	No action	476,752	3
PDO Entre-deux-Mers	High complantation	213,643	1
	High curettage	211,455	2
	No action	192,756	3
PDO Pauillac	High complantation	1,112,556	1
	High curettage	1,103,623	2
	No action	973,353	3
PDO Cognac cru Fins Bois	High complantation	541,135	1
	High curettage	530,733	2
	No action	476,752	3

from low efficiency to high efficiency are also positive. The higher efficiency allows the winegrape grower to benefit, just like the Laplace criterion, from a higher gain (See Appendix, Table 3.28 for numerical scores using the Bernoulli criterion).

### 3.12.3 Risk-seeking adoption decision

When the winegrape grower is risk-seeking they only consider maximum MeanNPV values which correspond to low disease severity. In these cases, complantation, regardless of practice efficiency and PDO, is preferred to curettage and no action. When considering the low practice efficiency scenarios, the winegrape grower observes maximum MeanNPV over 40 years of 242,369€/ha for PDO Entre-deux-Mers, 1,227,560€/ha for PDO Pauillac, and 589,377€/ha for

PDO Cognac cru Fins Bois. With high practice efficiency, complantation provides MeanNPV of 243,707€/ha for the Entre-deux-Mers PDO, 1,236,209€/ha for Pauillac and 593,575€/ha for the Cognac cru Fins Bois PDO (Table 3.18). We also see very high gains<sup>9</sup> for complantation compared to no action of 1,012€/ha, 8,812€/ha, 4,322€/ha for PDO Entre-deux-Mers, PDO Pauillac and PDO Cognac cru Fins Bois, respectively for low practice efficiency. With high efficiency, the winegrape grower garners additional gains with this criterion, of 2,350€/ha, 17,461€/ha, 8,520€/ha for PDO Entre-deux-Mers, PDO Pauillac and PDO Cognac cru Fins Bois, respectively.

A comparison between the two efficiencies reveals a greater advantage for the winegrape grower with a high efficiency of the practice. The cumulative gains on the additional 40 years provided, with this criterion are 1,338€/ha for PDO Entre-deux-Mers, 8,649€/ha for PDO Pauillac, and 4,198€/ha for PDO Cognac cru Fins Bois. Also, as is evident in Table 3.16, we also see here in Table 3.18 that when the disease severity is low, no action is more cost effective than curettage when the practice efficiency is low.

### 3.12.4 Risk averse adoption decision

When the winegrape grower is risk averse, his choice of practice depends on whether the Maximin criterion or Savage criterion is used. The Maximin criterion results are summarized in the Table 3.19 and indicate that the preferred decision for the risk averse winegrape grower is curettage except in Cognac cru Fins Bois PDO when complantation can be implemented with high efficiency.

Moreover, comparing the gains, with this criterion, obtained for each decision in the two efficiencies reveals a large difference. Firstly, when we consider the winegrape grower located in the Entre-deux-Mers PDO, we obtain a better decision with an average cumulative profit of 171,453 €/ha with a low efficiency and 184,089€/ha with a high efficiency of the practice (Table 3.19). We note an additional gain of 12,636€/ha. Second, for a winegrape grower in the Pauillac PDO, we have a better decision with an average cumulative profit of 923,295€/ha with low efficiency and 987,085€/ha with high efficiency of the practice (Table 3.19). Third, for a winegrape

---

9. We note about these gains not be actually gains in NPV but rather in the criterion.

TABLE 3.18 – Decision-making with the Maximax criterion : Average cumulative profit across practice scenarios and disease severity levels over 40 years for curettage, complantation and no action(€/ha), using a 4% discount rate and 2018 euros between No action and low efficiency.

Region	Severity	Efficiency	Max( <i>MeanNPV</i> )	Decision rank
PDO Entre-deux-Mers	Low Severity	Low complantation	242,369	1
		Low curettage	236,994	3
		No action	241,357	2
PDO Pauillac	Low Severity	Low complantation	1,227,560	1
		Low curettage	1,212,364	3
		No action	1,218,748	2
PDO Cognac cru Fins Bois	Low Severity	Low complantation	589,377	1
		Low curettage	582,350	3
		No action	585,055	2
PDO Entre-deux-Mers	Low Severity	High complantation	243,707	1
		High curettage	238,717	2
		No action	241,357	3
PDO Pauillac	Low Severity	High complantation	1,236,209	1
		High curettage	1,221 064	2
		No action	1,218,748	3
PDO Cognac cru Fins Bois	Low Severity	High complantation	593,575	1
		High curettage	586,527	2
		No action	585,055	3

grower in the Cognac cru Fins Bois PDO, the best decision differs according to the efficiency of the practice. We go from the decision of curettage obtained with an average cumulative profit of 450,663€/ha under low efficiency (Table 3.19) to the decision of complantation with a cumulative profit of 479,492€/ha under high efficiency of the practice. We also note a large profit gap between the implementation of curettage, which is the best decision, and the decision to do nothing. We see differences of 26,909€/ha for Entre-deux-Mers PDO, 193,373€/ha for Pauillac PDO and 89,556€/ha for Cognac cru Fins Bois PDO, even in a situation of low curettage efficiency. With high efficiency of curettage, we observe, relative to no action, differences of 39,545€/ha and 257,163€/ha from Entre-deux-Mers PDO and Pauillac PDO, respectively. With cognac, complantation becomes the best decision under a high efficiency and curettage takes the second place.

The results of the Savage criterion analysis are reported in Tables 3.20 and 3.21. First, Table 3.20 gives the best practice decision in the different regions for low practice efficiency. Here we see that the best decision for the winegrape grower is curettage for all PDOs. Table

TABLE 3.19 – Minimum mean NPV of profit for each practice scenarios under high severity

Region	Severity	Efficiency	Min(MeanNPV)	Decision_rank
PDO Entre-deux-Mers	High Severity	Low complantation	168,649	2
		Low curettage	171,453	1
		No action	144,544	3
PDO Pauillac	High Severity	Low complantation	903,076	2
		Low curettage	923,295	1
		No action	729,922	3
PDO Cognac cru Fins Bois	High Severity	Low complantation	442,728	2
		Low curettage	450,663	1
		No action	361,107	3
PDO Entre-deux-Mers	High Severity	High complantation	180,642	2
		High curettage	184,089	1
		No action	144,544	3
PDO Pauillac	High Severity	High complantation	979,202	2
		High curettage	987,085	1
		No action	729,922	3
PDO Cognac cru Fins Bois	High Severity	High complantation	479,492	1
		High curettage	475,560	2
		No action	361,107	3

3.21 provides the results obtained with a high efficiency of the practice. Here too curettage is preferred in each PDO. When we compare the regrets obtained for each decision between the different efficiencies, we find that the regrets obtained with a low efficiency of the practice are higher than the regrets obtained with a high efficiency. For the Entre-deux-Mers PDO, the regret is 65,541€/ha (Table 3.20) for low efficiency and 54,629€/ha for high efficiency (Table 3.21) corresponding to a difference in regret of 10,912€/ha. For the Pauillac PDO, the regret is 289,069€/ha (Table 3.20) for low efficiency and 233,979€/ha for high efficiency (Table 3.21). For the Cognac cru Fins Bois PDO, the regret is 131,687€/ha (Table 3.20) for low efficiency and 110,967€/ha for high efficiency (Table 3.21).

### 3.13 Discussion and conclusion

The prevalence of GTDs in vineyards is becoming more commonplace across the world. In France, the GTD Esca is widespread and gaining ground. Despite the threat, many winegrape growers are reluctant to adopt field-tested preventive and curative practices. For these reasons,

TABLE 3.20 – Average regret using Savage criterion across low efficiency practices and no action for varying disease severity scenarios

Region	Efficiency	Severity	MeanNPV	Max(MeanNPV)	Mean Regret	Decision rank
PDO Entre-deux-Mers	Low complantation	Low Severity	242,369	242,369	0	2
		Medium Severity	208,249		34,120	
		High Severity	168,649		73,720	
	Low curettage	Low Severity	236,994	236,994	0	1
		Medium Severity	203,944		33,050	
		High Severity	171,453		65,541	
	No action	Low Severity	241,357	241,357	0	3
		Medium Severity	192,365		48,995	
		High Severity	144,544		96,813	
PDO Pauillac	Low complantation	Low Severity	1,227,560	1,227,560	0	2
		Medium Severity	1,072,768		154,792	
		High Severity	903,076		324,484	
	Low curettage	Low Severity	1,212,364	1,212,364	0	1
		Medium Severity	1,064,272		148,092	
		High Severity	923,295		289,069	
	No action	Low Severity	1 218 748	1 218 748	0	3
		Medium Severity	971,387		247,361	
		High Severity	729,922		488,826	
PDO Cognac cru Fins Bois	Low complantation	Low Severity	589 377	589 377	0	2
		Medium Severity	527,867		61,510	
		High Severity	442,728		146,649	
	Low curettage	Low Severity	582,350	582,350	0	1
		Medium Severity	520,398		61,952	
		High Severity	450,663		131,687	
	No action	Low Severity	585,055	585,055	0	3
		Medium Severity	484,093		100,963	
		High Severity	361,107		223,948	

we study the decision to adopt two GTD curative practices (curettage and complantation) across different risk preference criteria.

To do so, we combined an epidemiological model of Esca infection, an agronomic model of winegrape production, and an economic decision-making model to analyze the adoption of curettage and complantation. Within this combined nature-human model, we analyze how risk preferences influence the grower’s decision to implement either practice to reduce the incidence of Esca and achieve appellation yield requirements. This is possible through the impact of the curative practices implemented on the yield produced and on the reduction of the mortality rate of the vines. Our study examined three appellations (Entre-deux-Mers PDO, Pauillac PDO and Cognac cru Fins Bois PDO, located in the South-western part of France. This was done, in part, to capture the heterogeneity of PDO regulation in terms of sales price, initial density, rate of missing grapes, minimum and maximum yield. The analysis relies on Monte Carlo simulations that varies winegrape prices and practice costs to derive profits for each practice and no action that are then evaluated using risk preference-based decision criteria. We also consider different practice efficiency levels to identify incremental value of greater practice efficiency.

TABLE 3.21 – Average regret using Savage criterion across high efficiency practices and no action for varying disease severity scenarios

Region	Efficiency	Severity	<i>MeanNPV</i>	$\text{Max}(\text{MeanNPV})$	Mean Regret mean	Decision rank
PDO Entre-deux-Mers	High complantation	Low Severity	243,708	243,708	0	2
		Medium Severity	216,578		27,130	
		High Severity	180,642		63,066	
	High curettage	Low Severity	238,717	238,717	0	1
		Medium Severity	211,559		27,159	
		High Severity	184,089		54,629	
	No action	Low Severity	241,357	241,357	0	3
		Medium Severity	192,365		48,993	
		High Severity	144,544		96,813	
PDO Pauillac	High complantation	Low Severity	1,236,209	1,236,209	0	2
		Medium Severity	1,122,258		113,951	
		High Severity	979,202		257,007	
	High curettage	Low Severity	1,221,064	1,221,064	0	1
		Medium Severity	1,102,721		118,343	
		High Severity	987,085		233,979	
	No action	Low Severity	1,218,748	1,218,748	0	3
		Medium Severity	971,387		247,361	
		High Severity	729,922		488,826	
PDO Cognac cru Fins Bois	High complantation	Low Severity	593,575	593,575	0	2
		Medium Severity	550,339		43,237	
		High Severity	479,492		114,083	
	High curettage	Low Severity	586,527	586,527	0	1
		Medium Severity	530,110		56,417	
		High Severity	475,560		110,967	
	No action	Low Severity	585,055	585,055	0	3
		Medium Severity	484,093		100,963	
		High Severity	361,107		223,948	

The results indicate that the winegrape grower's decision depends on their risk preference. The risk-neutral winegrape grower, regardless of practice efficiency or PDO, prefers complantation over curettage, which are both preferred to taking no action. The risk-seeking winegrape grower also prefers complantation. The risk-averse winegrape grower prefers curettage over complantation with both preferred to no action. In addition, we observe across all scenarios that high practice efficiency provides the winegrape grower greater returns regardless of its higher cost.

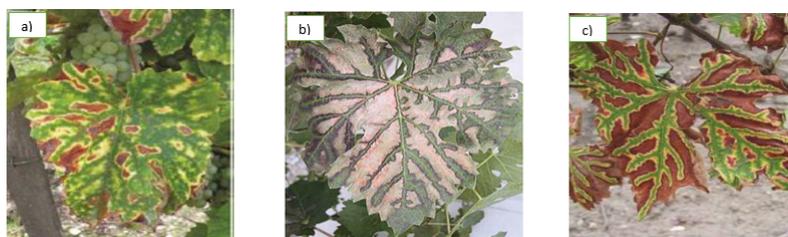
This examination of risk-driven behaviors allows us to underline the importance of considering risk preferences in decision-making. Our study also highlights the economic value of efficiency gains in curative practices. We show that when the curative practice has high efficiency, the winegrape grower obtains a significant additional economic gain. This result is the same in all scenarios considered. In particular, we emphasize the importance of decision-making under risk and uncertainty. Other important factors such as the geographical location of the winegrape grower could influence his decision given different specifications that regulate the production

upstream and downstream in each PDO such as sales price, initial density, rate of missing weight, minimum and maximum yield.

The limitation of this study remains the non-stochasticity of our epidemiological model. The deterministic model does not fully account for the uncertain dynamics of the Esca disease. Obtaining data from an epidemiological and agronomic studies of GTDs spread in different regions on a regular basis could provide for a more robust simulation model. Nevertheless, the lack of widespread adoption of curettage and complantation suggests non-economic factors are likely discouraging winegrape growers from adopting curative practices or a lack of knowledge about the economic gains may exist. Providing farmers with evidence of the economic benefit could lead to greater adoption, more profits, and a more sustainable wine industry in France. Moreover, investments in practice efficiency can have substantial benefits, especially in high-valued winegrape producing regions.

## Appendix

### Appendix A : Data information for model calibration



Source : [Lecomte et Darrieutort \(2014\)](#)

FIGURE 3.12 – Respectively from right to left, Esca/BDA symptoms on white grape varieties(a), desiccation on red grape varieties (b) and symptoms on red grape varieties (c).

TABLE 3.22 – Data from the PDO Entre-Deux-Mers specifications

PDO Entre-Deux-Mers		
Elements considered	Sources	valeurs
Initial minimum density	(INAO 2015)	4500 ceps/ha
Missing threshold allowed	(INAO 2015)	20%
Target yield	(INAO 2015)	65 hl/ha
Bulk sales prices (2018)	(cncma 2019)	1250 €/ 900 L or 138,89 €/hl

TABLE 3.23 – Data from the PDO Pauillac specifications

PDO Pauillac		
Elements considered	Sources	valeurs
Initial minimum density	(INAO 2010)	7000 ceps/ha
Missing threshold allowed	(INAO 2010)	20%
Target yield	(INAO 2010)	57 hl/ha
Bulk sales prices (2017)	(cncma 2019)	9000 €/ 900 L or 1000 €/hl

TABLE 3.24 – Data from the PDO Cognac cru Fins Bois specifications

PDO Cognac cru Fins Bois		
Elements considered	Sources	Valeurs
Initial minimum density	(BNIC 2009)	3000
Missing threshold allowed	(INAO 2018)	35%
Target yield	CGOCEAN(2019)	11,64 hl AP/ha
		or 116,4 hl of wine /ha (at 10° of alcohol)
Bulk sales prices	CGOCEAN(2019)	1220 €/hl AP or 122 €/hl of wine

## Appendix B : Supplementary results tables

TABLE 3.25 – Cumulative net discounted value over 40 years : Monte Carlo analysis with variation of wine price and cost of practice for the region of Entre-deux-Mers

Region	Efficiency	Severity	$Min_{NVP}$	$Mean_{NVP}$	$Median_{NVP}$	$Max_{NVP}$	$Sd_{NVP}$	
PDO Entre-deux-Mers	No esca		227 364	253 455	253 392	279 453	9 197	
		No action	Low Severity	215 637	241 357	241 277	266 943	9 044
			Medium Severity	168 058	192 365	192 376	216 608	8 554
	High Severity		123 495	144 544	144 552	166 125	8 201	
	Low complantation	Low Severity	216 508	242 369	242 275	267 883	9 068	
		Medium Severity	182 688	208 249	208 193	232 480	8 727	
		High Severity	144 042	168 649	168 639	192 526	8 527	
	High complantation	Low Severity	217 854	243 708	243 615	269 306	9 089	
		Medium Severity	190 909	216 577	216 512	240 937	8 821	
		High Severity	155 168	180 642	180 614	205 452	8 681	
	Low curettage	Low Severity	211 002	236 994	236 921	262 381	9 055	
		Medium Severity	178 447	203 944	203 920	228 889	8 747	
		High Severity	146 072	171 454	171 527	196 620	8 618	
	High curettage	Low Severity	212 609	238 717	238 618	264 179	9 076	
		Medium Severity	185 809	211 559	211 549	236 886	8 858	
		High Severity	158 140	184 088	184 146	209 680	8 723	

TABLE 3.26 – Cumulative net discounted value over 40 years : Monte Carlo analysis with variation of wine price and cost of practice for the region of Pauillac

Region	Efficiency	Severity	$Min_{NVP}$	$Mean_{NVP}$	$Median_{NVP}$	$Max_{NVP}$	$Sd_{NVP}$
PDO Pauillac		No esca	1 181 771	1 279 829	1 279 593	1 377 537	34 564
	No action	Low Severity	1 122 084	1 218 748	1 218 444	1 314 903	33 988
		Medium Severity	880 037	971 387	971 428	1 062 497	32 148
		High Severity	650 813	729 922	729 953	811 027	30 820
	Low complantation	Low Severity	1 130 671	1 227 560	1 227 290	1 323 673	34 076
		Medium Severity	978 295	1 072 768	1 072 660	1 162 856	32 721
		High Severity	814 252	903 076	902 966	987 857	31 636
	High complantation	Low Severity	1 139 223	1 236 209	1 235 854	1 332 536	34 153
		Medium Severity	1 027 557	1 122 258	1 122 068	1 213 832	33 051
		High Severity	887 057	979 202	979 050	1 065 652	32 105
	Low curettage	Low Severity	1 115 304	1 212 364	1 212 001	1 307 943	33 997
		Medium Severity	969 876	1 064 272	1 064 091	1 155 127	32 716
		High Severity	831 413	923 295	923 505	1 012 356	31 927
	High curettage	Low Severity	1 123 565	1 221 064	1 220 622	1 316 884	34 074
		Medium Severity	1 007 375	1 102 721	1 102 631	1 195 013	33 135
		High Severity	893 937	987 085	987 319	1 077 746	32 328

TABLE 3.27 – Cumulative net discounted value over 40 years : Monte Carlo analysis with variation of wine price and cost of practice for the region of Cognac cru Fins Bois

Region	Efficiency	Severity	$Min_{NVP}$	$Mean_{NVP}$	$Median_{NVP}$	$Max_{NVP}$	$Sd_{NVP}$
PDO Cognac cru Fins Bois		No esca	458 874	614 398	614 024	769 367	54 819
	No action	Low Severity	431 743	585 055	584 573	737 560	53 906
		Medium Severity	336 496	484 093	483 871	627 532	51 236
		High Severity	233 113	361 107	360 922	492 449	49 147
	Low complantation	Low Severity	435 952	589 377	588 938	741 999	54 043
		Medium Severity	382 284	527 867	527 722	673 540	51 964
		High Severity	302 943	442 728	442 563	575 944	50 149
	High complantation	Low Severity	439 899	593 575	593 147	746 453	54 164
		Medium Severity	401 158	550 339	550 147	697 939	52 905
		High Severity	336 092	479 492	479 042	616 955	50 812
	Low curettage	Low Severity	428 920	582 350	581 883	734 521	53 905
		Medium Severity	371 968	520 398	520 147	666 713	52 225
		High Severity	307 309	450 663	450 324	589 630	50 514
	High curettage	Low Severity	432 401	586 527	585 983	739 081	54 028
		Medium Severity	380 055	530 110	529 813	677 386	52 497
		High Severity	329 622	475 560	475 478	617 500	51 245

TABLE 3.28 – Decision making with the Bernoulli’s criterion

Region	Efficiency	$\text{Ln}(\text{Average}(\text{cumulative}(\sum \text{Mean}_{NVP})))$	Decision_rank
PDO Entre-deux-Mers	Low complantation	11.93	2
	Low curettage	11.92	1
	No action	11.90	3
PDO Pauillac	Low complantation	13.57	2
	Low curettage	13.58	1
	No action	13.53	3
PDO Cognac cru Fins Bois	Low complantation	12.84	2
	Low curettage	12.85	1
	No action	12.81	3
PDO Entre-deux-Mers	High complantation	11.94	1
	High curettage	11.94	2
	No action	13,14	3
PDO Pauillac	High complantation	13.59	1
	High curettage	13.59	2
	No action	11.90	3
PDO Cognac cru Fins Bois	High complantation	12.86	1
	High curettage	12.86	2
	No action	12.81	3

## Conclusion du chapitre

La gestion économique du phénomène du dépérissement est une réelle problématique pour les viticulteurs qui nécessite une adaptation dans un contexte de compétitivité-coût. L’adaptation des viticulteurs, dans ces temps où les effets du changement climatique se font de plus en plus sentir, est nécessaire pour répondre aux enjeux de production face au dépérissement. [Van Leeuwen et al. \(2013\)](#) ont notamment montré le grand potentiel d’adaptation des viticulteurs au cours du temps. Mais la question des stratégies optimales à adopter reste ouverte. Ce chapitre a étudié particulièrement le cas du dépérissement du vignoble à travers une MDB de la vigne qui est désignée comme l’une des causes d’improductivité majeure en France et dans le monde, l’Esca, et a analysé les processus de décision pour l’adaptation des viticulteurs en situation de risque et d’incertitude.

La première partie du chapitre a consisté à analyser la rentabilité économique des moyens de lutte existant contre l’Esca, en particulier, les pratiques curatives. Nous avons construit un modèle de simulation bioéconomique, pour déterminer le coût d’opportunité de long terme de la mise en place de deux pratiques curatives (curetage et complantation) versus ne rien faire sur

une parcelle atteinte par l'Esca. Nous avons souligné, à travers différents scénarios, les pertes économiques liées à l'absence d'action pour faire face à l'Esca et également mis en exergue les bénéfices économiques de l'adoption des deux pratiques par rapport à la situation sans action. Cette première partie du chapitre permettra, on l'espère, de réduire le manque de connaissances des viticulteurs sur les gains économiques liés à l'adoption de ces pratiques curatives.

A partir de la matrice de données technico-économiques ainsi obtenue, nous avons analysé les facteurs hors-coût qui pourraient influencer l'adoption de ces pratiques en soulignant les facteurs tels que l'environnement incertain et risqué du viticulteur. Dans la seconde partie du chapitre, nous avons donc analysé l'impact du comportement face au risque et à l'incertitude d'un viticulteur sur la décision d'adopter ou non une pratique curative. Pour ce faire, un modèle de la théorie de la décision basé sur les critères de choix en présence d'incertitude a été utilisé. Les résultats obtenus ont montré que la décision d'un viticulteur est effectivement influencée par sa préférence pour le risque. Face à un viticulteur neutre vis-à-vis du risque, risquophile ou risquophobe, la meilleure pratique et donc la décision peuvent varier. Cependant, nous avons montré que la meilleure décision pour un viticulteur, entre adopter ou non les pratiques curatives, reste l'adoption (la complantation et/ou le curetage). La décision de ne rien faire face à la maladie n'est préférable que dans certains cas où la sévérité de la maladie sur la parcelle est très faible. En outre, on a montré qu'un investissement dans l'efficacité des pratiques peut engendrer des bénéfices supplémentaires dans le temps long, ce qui souligne l'importance d'une bonne formation des viticulteurs à ces pratiques ou pour les prestataires auxquels ils ont recours. Enfin, la prise en compte de différentes AOC dans l'analyse a permis de souligner l'influence du facteur relatif au cahier de charge sur la décision, c'est-à-dire les différentes spécifications qui régissent la production dans chaque AOC, telles que : la densité initiale, le taux de manquant autorisé, le rendement minimum et le rendement maximum et au-delà le prix de vente et la réputation.

Au travers de ce chapitre, nous espérons fournir aux agriculteurs des références technico-économiques relatives à ces pratiques (avec une méthodologie transposable à d'autres pratiques sous réserve de la disponibilité de références à dire d'expert), pour favoriser la diffusion de ces pratiques avec une bonne rentabilité économique et pour une meilleure compétitivité des entreprises viticoles françaises. Nous avons montré que malgré l'effet négatif d'une augmentation du rendement sur le prix du vin estimé dans le chapitre 2, l'adoption des pratiques curatives du

curetage et de la complantation restent rentables pour le viticulteur. Cela signifie que la hausse de rendement induite par cette adoption est plus que proportionnelle à la baisse du prix du vin. Le viticulteur pourra donc compenser cette baisse du prix par une plus grande productivité de la parcelle et une compétitivité-coût plus accrue.

Ce chapitre met également en lumière l'importance du comportement face au risque du viticulteur dans sa prise de décision. Ainsi, nous pensons que l'accompagnement des agriculteurs en général dans l'adoption de nouvelles pratiques devrait tenir compte de ce facteur pour une meilleure adaptation au caractère risqué et incertain du secteur agricole. Néanmoins, le chapitre montre que, bien que le comportement face au risque du viticulteur soit très important dans sa prise de décision, il ne devrait pas le décourager dans l'adoption du curetage et de la complantation. En effet, il est montré dans la littérature ([Kumbhakar, 2002](#) ; [Clot et al., 2017](#) ; [Aka et al., 2018](#) ; [Hannus & Sauer, 2020](#) ; [Tevenart & Brunette, 2021](#)) que les agriculteurs en général, ont tendance à être averses au risque. Dans notre étude, on note particulièrement que, pour les viticulteurs averses aux risques, la décision préférée est l'adoption d'une pratique, en l'occurrence celle du curetage, au détriment de la décision de ne rien faire face à la maladie de l'Esca.

Cependant, la méconnaissance du phénomène du dépérissement reste un frein pour les viticulteurs dans leur adaptation. En effet, comme nous l'avons souligné plus haut, le phénomène du dépérissement est multifactoriel, il peut donc être dû à différents facteurs de l'environnement de l'exploitation viticole que ce soit au niveau biotique, abiotique, au niveau des pratiques ou au niveau social comme au niveau économique. Le deuxième article présenté dans ce chapitre conclut d'ailleurs à l'importance d'autres facteurs de dépérissement, tels que les facteurs socio-économiques et techniques sur la vulnérabilité des exploitations viticoles au dépérissement. Le chapitre suivant est donc centré sur une analyse socio-économique et technique du dépérissement de la vigne dans le but de souligner ces facteurs, pour une meilleure gestion du dépérissement qui permettra de préserver ou d'améliorer la compétitivité des exploitations viticoles.

---

## Analyse des facteurs socio-économiques et socio-techniques du dépérissement

## 4.1 Introduction

Depuis deux décennies, la filière viti-vinicole ne cesse de s'adapter aux nombreux changements qui s'imposent au secteur (Brugière et al., 2016). Confrontée à des changements incessants de son environnement macroéconomique, social, climatique et technologique (Azadi et al., 2019), la filière viti-vinicole française se voit dans l'obligation d'adopter un nouveau mode de gestion pour garantir sa compétitivité vis-à-vis du reste du monde. Le caractère pérenne de la vigne et les réglementations liées aux cahiers des charges des appellations lui confèrent une grande difficulté pour l'adaptation. L'arrivée de nouveaux pays dans le secteur du vin, les modifications du droit communautaire concernant la filière viti-vinicole et l'évolution des attentes des consommateurs sont également des facteurs qui impactent considérablement le système de production et de commercialisation du raisin et du vin (Brugière et al., 2016).

Comme présenté dans l'introduction générale de la thèse, le dépérissement est un phénomène multifactoriel dont les facteurs sont difficilement identifiables. Quatre facteurs principaux ont été retenus pour le caractériser : les stress environnementaux, les agressions biologiques, les pratiques viticoles et l'environnement socio-technique extérieur à l'exploitation (PNDV, 2020). Les analyses menées dans les chapitres 2 et 3 ont permis de travailler plus particulièrement trois de ces facteurs avec l'effet général du dépérissement sur la formation des prix et le processus de décision d'adoption de nouvelles pratiques par les viticulteurs pour la gestion d'une maladie du bois (l'Esca). Malgré tout, le dépérissement est difficilement appréhendé dans la pratique par les viticulteurs, ce qui ne facilite pas sa gestion. Bien que la preuve de la rentabilité économique (prix de vente et coût d'opportunité) des pratiques curatives et la prise en compte de la préférence pour le risque représentent deux facteurs très importants pour l'adoption d'une pratique, ils ne suffisent pas à expliquer la vulnérabilité des exploitations dans la gestion du dépérissement à eux seuls.

Ainsi, d'autres facteurs pourraient impacter la gestion du dépérissement. La méconnaissance de ce phénomène complexe et systémique en lui-même peut constituer un frein et influencer négativement la perception des viticulteurs sur l'ampleur du dépérissement, et donc *in fine* leurs stratégies de gestion de ce dernier. Un mauvais diagnostic de l'état de dépérissement des parcelles de l'exploitation peut en effet empêcher la mise en oeuvre de méthodes de lutte

et impacter les décisions prises pouvant conduire à des stratégies d'adaptation mal orientées (inadéquation entre les besoins réels d'investissement de l'exploitation et les méthodes utilisées). Le manque de connaissances sur les liens entre les facteurs socioéconomiques (structure des exploitations touchées, choix d'investissements, d'itinéraires techniques) et les dépérissements a notamment été mis en évidence ([FranceAgriMer CNIV BIPE, 2018](#)). Il apparaît ainsi nécessaire d'entreprendre des études pour l'identification puis la prise en compte du niveau de dépérissement des exploitations et des ces facteurs de ce dépérissement afin de limiter ses effets. Il reste donc à mener, pour une analyse complète des facteurs de dépérissement dans le cadre de la thèse, une étude des facteurs liés à l'environnement socio-technique et socio-économique de l'exploitation.

Dans ce chapitre, nous tentons donc d'identifier les facteurs socio-économiques et socio-techniques les plus discriminants pour expliquer le niveau de dépérissement d'une exploitation viticole et donc pour la gestion de celui-ci. Nous nous appuyons pour cela sur tous les facteurs mis en avant par le Plan National Dépérissement du Vignoble. Selon le PNDV ([PNDV, 2016, 2020](#)), l'environnement socio-technique d'une exploitation viticole est caractérisé par des facteurs tels que : le matériel végétal disponible, les différents cahiers des charges, les traitements disponibles, les normes, les contrôles et le niveau de formation des viticulteurs. Les facteurs socio-économiques regroupent quant à eux l'environnement économique et financier, l'environnement social, les réglementations appliquées, les ressources humaines et les attentes des consommateurs ([Riou et al., 2016](#) ; [Mahé et al., 2019](#)).

Pour mieux connaître le rôle que ces facteurs peuvent jouer sur la vulnérabilité des exploitations viticoles au dépérissement, le PNDV a lancé différentes études. Une étude sur le dépérissement du vignoble a été tout d'abord confiée au cabinet BIPE (Bureau d'informations et de prévisions économiques) en 2015, dans le but de faire un état des lieux de l'ensemble des causes identifiées du dépérissement, et d'acquérir de nouvelles connaissances sur les maladies et facteurs qui y sont liés via des enquêtes auprès de viticulteurs en France à deux échelles : parcelle et exploitation ([BIPE, 2015, 2016](#)). Cette étude s'est faite à travers une analyse bivariée, en 2017, sur les facteurs une fois les réponses retraitées dans des classes définies a priori (régions, tailles, stratégies de valorisation, etc.). Les résultats de l'analyse ont souligné que pour l'évaluation du risque de dépérissement de l'exploitation, les facteurs les plus discriminants étaient les facteurs

en lien avec le caractère coopérateur, le type de conduite (conventionnelle, raisonnée/mixte ou en transition, biologique) intégrant le niveau d'engagement environnemental, l'endettement, l'évolution du taux de marge ainsi que trois éléments d'itinéraire technique tel que la durée de la période de taille, les dépenses en produits phytosanitaires, le nombre d'opérations culturales adopté pour soutenir la longévité des ceps de vigne). La limite principale de cette analyse réside dans la méthodologie choisie, i.e. l'analyse bivariée, qui n'est pas vraiment adaptée pour l'étude des phénomènes multifactoriels ([James et al., 2013](#)) comme le dépérissement de la vigne. En effet, elle ne permet pas de prendre en compte de manière simultanée l'effet de tous les facteurs potentiels. En revanche, l'utilisation d'une analyse plutôt multivariée permettrait de répondre à cette préoccupation ([Valette-Florence, 1988](#); [Olivieri, 2008](#); [Hosmer Jr et al., 2013](#); [Corbière & Larivière, 2020](#)), d'où la nécessité de nouvelles analyses avec une méthodologie adaptée.

Suite à ces premiers résultats, le CNIV (Comité National des Interprofessions des Vins à appellation d'origine et à indication géographique) a développé en 2017-2018 un outil d'auto-diagnostic en ligne pour que les viticulteurs puissent évaluer leur niveau de dépérissement avec un questionnaire inspiré de l'enquête du BIPE mais simplifié. Les réponses aux questions ont permis de constituer une deuxième base de données incluant niveau de dépérissement et de nombreux facteurs socio-économiques et socio-techniques susceptibles de favoriser ou de limiter le dépérissement (à partir des résultats de l'enquête BIPE) à l'échelle des exploitations agricoles. L'échantillon est plus large que pour l'enquête BIPE ([FranceAgriMer CNIV BIPE, 2018](#)). Cet outil d'auto-évaluation a permis de faire un premier diagnostic de l'état du niveau de dépérissement des exploitations ([Mahé et al., 2019](#)) en les classant en fonction de leur statut « dépérissant », « intermédiaire », « non-dépérissant ». 66% des viticulteurs enquêtés se disent touchés par le dépérissement et cela parfois même alors qu'ils atteignent leurs objectifs de rendement. La perception des viticulteurs enquêtés, bien que cohérente avec les résultats de l'analyse donné par l'indicateur, est souvent plus optimiste. Ainsi, plusieurs exploitations présentent un risque de dépérissement alors qu'ils ne le perçoivent pas, confirmant l'intérêt de la mise en place d'un outil d'auto-diagnostic à l'échelle de l'exploitation (qui devrait à terme contenir au maximum 20 questions).

Les résultats obtenus par l'étude de [Mahé et al. \(2019\)](#) ont révélé que les viticulteurs qui réalisent le test d'auto-évaluation semblent être directement concernés par les dépérissements.

De manière moins ciblée, plusieurs études socio-économiques ont été réalisées dans la littérature pour la compréhension de différents phénomènes multifactoriels (Joly & Lemarié, 2000; Mendola, 2007; Baldé, 2016; Durand & Nave, 2007; Van De et al., 2008; Douglas, 2006; Salvati & Zitti, 2009; Huggins & Thompson, 2015) dont nous nous inspirons également dans ce chapitre. L'objectif est de considérer dans l'étude d'un phénomène tous les facteurs qui pourraient l'influencer ou être impactés, tant au niveau social, au niveau technique qu'au niveau économique (Dwivedi et al., 2016; Sanfo et al., 2017; Zahraee et al., 2020). Ces études montrent bien un fort lien entre ces facteurs socio-économiques et le phénomène étudié. La prise en compte de ces facteurs socio-économiques et socio-techniques permet d'évaluer les conséquences sur les différents secteurs d'un pays. Par exemple, des études socio-économiques et techniques ont été entreprises pour analyser les cause et l'effet économique et social de la crise sanitaire de la COVID-19 qui marque l'économie mondiale depuis plus de 3 ans (Begum et al., 2020; Bodrud-Doza et al., 2020).

Dans ce chapitre, nous nous intéressons au lien entre le contexte socio-économique et socio-technique des entreprises viticoles et le niveau de dépérissement des exploitations. Nous réalisons, pour ce faire, une analyse socio-économique. L'idée est d'étudier les différents facteurs socio-économiques et socio-techniques qui pourraient exposer davantage une exploitation au dépérissement ou ceux qui, au contraire, permettraient aux exploitations de minimiser leur risque de dépérissement. Nous utilisons pour cela la base de données d'enquête du Comité National des Interprofessions des vins (CNIV) sur des exploitations viticoles françaises (2018) mais avec des méthodes d'analyse multivariées. Nous effectuons dans un premier temps des analyses en composantes multiples comme méthode descriptive des données et utilisons ensuite un modèle logit ordonné et des modèles d'arbres de décision comme méthodes explicatives. L'objectif est de faire ressortir les caractéristiques prédominantes pouvant expliquer le statut dépérisant ou non d'une exploitation. Les résultats obtenus montrent qu'il existe bien un lien entre le contexte socio-économique et socio-technique des entreprises viticoles et leur statut de dépérissement. Les facteurs mis en évidence sont : **le rendement de l'exploitation, la longévité de l'exploitation, l'évolution du taux de marge, l'évolution du taux d'endettement** de l'exploitation,

**l'évolution du stock de vin, le niveau de dépense en main-d'œuvre, en matériel végétal et en produit phytosanitaire, le niveau d'engagement environnemental, le niveau de formation de l'exploitant, l'adhésion à une cave coopérative et les pratiques culturales** (préventives et curatives). Ces facteurs devraient permettre aux viticulteurs de mieux percevoir le statut de leur exploitation vis-à-vis du dépérissement.

Nous passons tout d'abord en revue les facteurs socio-économiques identifiés par la littérature et des méthodes d'analyse dans la section 4.2. La section 4.3 sera consacrée à la présentation de la base de données utilisée et des statistiques descriptives. La section 4.4 détaillera les différentes méthodes retenues pour l'analyse socio-économique. Les résultats seront présentés dans la section 4.5. Enfin, les sections 4.6 et 4.7 présentent respectivement la discussion des résultats et la conclusion.

## 4.2 Revue de la littérature

Pour comprendre les facteurs socio-économiques et socio-techniques qui pourraient expliquer le phénomène du dépérissement, nous analysons certaines études sur le sujet. Dans un premier temps, nous passons en revue le peu de littératures existant sur ces facteurs dans le contexte viticole français. Dans un second temps, nous analysons la littérature empirique sur les méthodes adéquates pour l'identification du lien entre ces facteurs et le dépérissement des exploitations.

### 4.2.1 Les facteurs socio-économiques et socio-techniques des exploitations viticoles française

Peu d'études dans la littérature ont étudié les facteurs socio-économiques et socio-techniques liés à l'environnement des exploitations viticoles françaises (BIPE, 2015; Riou et al., 2016; Mahé et al., 2019). Ces facteurs sont pourtant très importants, car ils constituent un vecteur de dépérissement des vignobles français (PNDV, 2020). Ils constituent plusieurs éléments propres au contexte de production des exploitations. Dans cette section, nous analysons ces différents facteurs et leurs rôles dans une exploitation viticole.

#### 4.2.1.1 Les facteurs socio-économiques du dépérissement des exploitations agricoles

Les facteurs socio-économiques sont principalement composés de l'environnement économique et financier de l'exploitation, des réglementations appliquées à l'exploitation, les ressources humaines, des attentes des consommateurs, des stratégies de valorisation et le niveau de formation des viticulteurs. L'environnement économique et financier est un facteur très important, car il pourrait conditionner la capacité financier d'investissement du viticulteur dans ces pratiques de lutte contre le dépérissement. Par exemple, les petites exploitations qui ont une plus faible capacité financière auront du mal à réaliser des investissements très coûteux (Bodiguel, 2008 ; FranceAgriMer CNIV BIPE, 2018 ; Mahé et al., 2019).

Ensuite, les ressources humaines représentent le capital humain de l'exploitation et déterminent les dépenses en main-d'œuvre du viticulteur. Les travaux effectués par le cabinet BIPE et le CNIV démontrent entre autres que la baisse du taux de marge brute depuis plusieurs années, la présentation d'un niveau d'endettement soit trop forts soit trop faibles sont des facteurs liés au risque de dépérissement (FranceAgriMer CNIV BIPE, 2018). Par exemple, un niveau trop faible d'endettement pourrait être dû à un manque d'investissements dans les pratiques (préventives ou curatives) de lutte contre le dépérissement, ce qui pourrait traduire une négligence de la part de l'exploitant. Un niveau trop élevé en revanche pourrait être dû à une hausse des coûts de production plus que proportionnelle au chiffre d'affaires de l'exploitation. Cette hausse des coûts de production serait induite par une augmentation des charges pour la gestion du dépérissement et une baisse ou une stagnation du chiffre d'affaires serait due à la baisse de rendements causés par le dépérissement. Un taux trop élevé du taux d'endettement pourrait également être dû à des investissements non-productifs des exploitants à cause d'un mauvais diagnostic de l'état sanitaire réel de l'exploitation ou la mise en œuvre de pratiques peu efficaces.

Les attentes des consommateurs représentent aussi un déterminant important dans la production et son niveau. Ces attentes, qui ont considérablement augmenté ces dernières années, portent tant sur la qualité du vin, les exigences environnementales (avec la minimisation de l'utilisation des pesticides) (Ugaglia et al., 2021), que sur un prix du vin abordable (relativement bas). Le niveau de formation des viticulteurs représente également un facteur socio-économique

important, car il leur permet d'être plus efficaces dans les pratiques adoptées et dans la gestion de l'exploitation (Reynier, 2011 ; Alonso Ugaglia, 2011).

Un autre facteur socio-économique retenu est la stratégie de différenciation des produits issus de la vigne. Le secteur viticole français est caractérisé par plusieurs stratégies de différenciation des produits. Les vins se distinguent en effet par différents signes d'identification, de mention de qualité et d'origine : les appellations d'origine contrôlée (AOC), les indications géographiques protégées (IGP) et plus récemment l'agriculture biologique (AB) par exemples. Les AOC et les IGP sont régies par des cahiers des charges stipulant la densité de plantation des ceps dans les parcelles, le taux maximum de manquants autorisé dans les parcelles et le rendement maximum autorisé par hectare. L'impact économique des différentes stratégies de labellisation en agriculture est controversé dans la littérature. En effet, dans une étude en 2017, sur les performances économiques des exploitations en agriculture biologique, Dedieu et al. ont montré que la certification AB augmente la performance des exploitations viticoles. Dans une étude sur la différenciation et la compétitivité des exploitations viticoles françaises, Gillot et al. (2022) montrent que la stratégie de différenciation n'impacte pas toujours positivement le profit des agriculteurs. Les résultats ont montré, par exemple, que les exploitations en AOC avaient des efficacités inférieurs aux exploitations sans label de qualité. Cependant, Le manque d'études scientifiques qui comparent les différents signes de qualité et d'origine pour le cas particulier du secteur viticole ne permet pas d'affirmer avec certitude, par exemple, que la certification AB est plus performante ou non que la revendication d'une AOC ou d'une IGP (Guyomard et al., 2013).

Enfin, La littérature identifie également l'adhésion à une coopération agricole comme un facteur qui pourrait faciliter la gestion des exploitations. Delay et al. (2015) ont analysé la coopération agricole dans le secteur viticole Français et ont montré que l'adhésion à une coopérative a un effet de stabilisateur socio-économique. De plus, la bonne structuration et le bon développement des caves coopératives permettraient d'accroître la compétitivité internationale des entreprises (Ewert, 2005). Lipatova et al. (2021) ont donc analysé le potentiel de la coopération agricole comme facteur d'amélioration de l'efficacité de la production des entreprises agricoles. Ils ont trouvé que la coopération agricole a un effet positif sur la stabilité financière, la productivité du travail et la réduction des coûts de production de l'entreprise

agricole. [Touzard \(2011\)](#) a analysé l'évolution des caves coopératives du Languedoc-Roussillon au cours du XXe siècle. Il montre que les facteurs immatériels tels que la compétence, le réseau, la capacité à construire de nouveaux projets et la réputation de la coopérative sont des facteurs fondamentaux pour expliquer les différences d'engagements dans l'innovation et les résultats économiques des coopératives. L'adhésion à une cave coopérative permettrait de faciliter l'adoption de nouvelles pratiques et la gestion des changements du secteur ([Chiffolleau, 2004](#)).

#### 4.2.1.2 Les facteurs socio-techniques du dépérissement des exploitations viticoles

Les facteurs socio-techniques identifiés pour le dépérissement du vignoble regroupent principalement des pratiques culturelles, du matériel végétal, les normes environnementales et sanitaires et les caractéristiques socio-techniques de l'exploitation ([Riou et al., 2016](#) ; [Mahé et al., 2019](#)).

Les pratiques culturelles regroupent l'ensemble des opérations mises en place par les viticulteurs pour l'entretien du vignoble. Elles constituent un levier qui joue sur le rendement et la longévité des parcelles de vigne. Si leur objectif premier est d'obtenir une récolte saine et un rendement objectif, elles peuvent parfois aggraver le dépérissement et avoir un effet inverse. Les pratiques culturelles concernées sont les pratiques liées à l'installation du vignoble dès la plantation de la parcelle, à la gestion des manquants, à l'entretien du sol, à la fertilisation et à la santé de la vigne (traitements phytosanitaires, lutte biologique). Une des pratiques les plus critiquées comme source de dépérissement est celle de la taille qui peut blesser le cep et favoriser l'entrée des champignons pathogènes des maladies du bois dans la vigne ([Winetwork, 2018](#)). D'autres pratiques peuvent être mises spécialement en place pour lutter contre le dépérissement comme le curetage par exemple (Chapitre 3), ou contre la sécheresse et le réchauffement climatique (agroforesterie, port de la vigne). Aussi les normes relatives à l'environnement peuvent être plus ou moins discriminantes pour l'exploitation (par exemple l'interdiction de certains produits chimiques).

Le choix du matériel végétal est un facteur très important pour le potentiel de production et la résistance aux différents facteurs de dépérissement. Le choix des différents cépages plantés sur les parcelles de l'exploitation relèverait d'une décision stratégique de la part des viticulteurs ([Ecophytopic, 2013](#)). Le matériel végétal des exploitations viticole est composé de différents

cépages<sup>1</sup>, porte-greffes<sup>2</sup> et clones<sup>3</sup> qui constituent des éléments importants de la typicité d'un vignoble (IFV, 2018). Les cépages ont des capacités différentes de résistance aux maladies et à la sécheresse (Chira, Suh, Saucier, & Teissèdre, 2008; Schnee, 2008). Les viticulteurs choisissent donc leur encépagement en fonction des différents attributs des cépages (qualité, typicité, résistance aux maladies ou à la sécheresse, etc.) et disposent ainsi d'un levier qui peut favoriser ou limiter le dépérissement selon les mélanges qu'ils choisissent, mais ces choix les engagent pour toute la durée de vie des parcelles.

Enfin, les caractéristiques de l'exploitation sont également des facteurs qui conditionnent la production. Par exemple en AOC, la superficie de l'exploitation définit le volume maximal de production et le coût des investissements pour son entretien. Les droits de plantation qui limitaient la superficie des surfaces plantées en vigne de raisins de cuve sont une preuve de l'importance de ce facteur. Cette loi régula l'extension des exploitations viticoles (Onivins). Cependant, en 2008, la Commission européenne a décidé de d'abolir ces droits pour permettre aux exploitations de faire des économies d'échelle. L'idée était qu'une exploitation plus grande permettrait une meilleure performance de l'exploitation et donc une bonne compétitivité des exploitations viticoles vis-à-vis du reste du monde (Commission, 2008). L'enjeu était également de faire face à la globalisation du marché du vin en réduisant les contraintes de production des exploitations européennes (Montaigne, Coelho, Delord, Kheffi, et al., 2012). Delord et al. (2015) ont analysé l'impact de la taille des exploitations viticoles sur leur performance économique. L'idée était d'évaluer la pertinence de l'abolition des droits de plantation de vignes. Ils ont montré que la taille des exploitations avait peu d'impact sur la performance économique des exploitations. Le facteur qui impacterait de manière significative cette performance serait plutôt le prix de vente.

Tous ces facteurs constituent autant de déterminants à tester et à analyser de manière systémique pour mieux appréhender la vulnérabilité des exploitations viticoles françaises au dépérissement voire leur niveau de dépérissement.

---

1. Variété de plant de vigne cultivée

2. Partie principalement souterraine du pied de vigne, résistant au phylloxéra

3. Des clones en viticulture constituent une population de ceps identiques génétiquement et issus de la multiplication végétative (<https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/themes/production-vegetale/viticulture/selection-clonale-vigne.html>)

## 4.2.2 Analyse socio-économique et socio-technique : une analyse multivariée

Différentes méthodes peuvent être utilisées dans la littérature pour réaliser des analyses socio-économiques, parmi lesquelles les analyses multivariées apparaissent des méthodes appropriées pour l'explication de phénomènes multifactoriels. En effet, les analyses multivariées ont l'avantage de prendre en compte différents facteurs simultanément pour décrire et expliquer les liaisons entre les différents facteurs. Effectuées à des fins prévisionnelles et exploratoires, ces analyses sont utiles lorsque plusieurs facteurs influencent potentiellement un résultat (Olivieri, 2008). On note deux types de méthodes distinctes pour les analyses multivariées : les méthodes descriptives et les méthodes explicatives.

### 4.2.2.1 Méthodes descriptives

Les méthodes descriptives dans le cadre des analyses multivariées sont utilisées pour l'exploration d'un échantillon de données. Les avantages de la méthodes descriptives sont particulièrement la présentation visuelle des résultats par le biais de graphiques et de tableaux, ainsi que la facilité de lecture et de compréhension des résultats obtenus (Valette-Florence, 1988 ; Corbière & Larivière, 2020). Parmi les méthodes descriptives on trouve entre autres l'analyse en composantes principales (ACP), l'analyse des correspondances multiples (ACM), l'analyse factorielle des correspondances (AFC), le clustering ou partitionnement des données, la méthode MDS (multi-dimensional scaling) et le positionnement multidimensionnel. Ces différentes méthodes ont été développées dans différents domaines d'étude. Les plus utilisées sont l'analyse en composantes principales (ACP), réalisée sur des variables quantitatives (Ringnér, 2008 ; S. P. Mishra et al., 2017 ; García-Peña et al., 2021 ; Glevarec & Cibois, 2021), l'analyse factorielle des correspondances (AFC), réalisée sur deux variables qualitatives (Pham et al., 2009), l'analyse des correspondances multiples (ACM) qui est réalisée sur plusieurs variables qualitatives (Brunette et al., 2018 ; Salvatore et al., 2019 ; Davidescu et al., 2021) et le clustering (Fowlkes & Mallows, 1983 ; Muzeau et al., 2020).

Plusieurs études dans la littérature utilisent ces méthodes pour l'analyse socio-économique. Par exemple, Rose et al. (2018), dans une étude mettant en exergue le lien entre le paludisme et

la production agricole, ont analysé le statut socio-économique des populations comme un des canaux potentiels de ce lien. Ils ont montré que le statut socio-économique des populations a des effets directs sur la probabilité de l'apparition du paludisme. Ils ont utilisé une ACP et une ACM pour construire deux indices du statut socio-économique et de l'accès à la santé. [Sheng et al. \(2021\)](#) ont analysé les facteurs de perturbation d'une meilleure gestion de la demande d'électricité. Ils ont également utilisé l'ACP pour capter ces facteurs et un modèle multifactoriel de mesure de l'électricité résidentielle (PCA-MCA) pour explorer l'hétérogénéité des facteurs. Tous ces exemples d'études mettent en exergue les capacités d'analyse des méthodes descriptives de l'analyse multivariée pour l'analyse de phénomènes multifactoriels.

#### 4.2.2.2 Méthodes explicatives

Les méthodes explicatives sont employées dans différentes disciplines scientifiques. Elles sont notamment utilisées pour la réalisation d'analyses socio-économiques dans la littérature ([S. Johnson et al., 2010](#); [Madhu et al., 2014](#); [Lee et al., 2020](#); [Ur Rahman et al., 2021](#); [M. D. B. Silva et al., 2021](#); [Tamasiga et al., 2022](#)). Elles ont pour objectif la prédiction du phénomène étudié. L'utilisation d'une méthode de prédiction en plus d'une méthode descriptive permet d'évaluer la robustesse des résultats obtenus. Les méthodes explicatives de l'analyse multivariée que nous distinguons dans la littérature sont l'analyse des régressions multiples, l'analyse de la variance (ANOVA) bivariée et multivariée, l'AFD ou l'analyse factorielle discriminante, l'analyse conjointe, l'analyse canonique des corrélations, les modèles d'équations structurelles, la régression logistique et les méthodes des arbres de décision. L'analyse des régressions multiples est utilisée pour examiner la relation entre plusieurs variables indépendantes et une variable dépendante ([James et al., 2013](#)).

L'analyse de la variance (ANOVA) bivariée et multivariée est utilisée pour examiner le rapport de dépendance entre une variable quantitative et une ou plusieurs variables qualitatives ([Ruxton & Beauchamp, 2008](#)). Ensuite, l'analyse factorielle discriminante (AFD) permet d'examiner sur un graphique à plusieurs dimensions la distinction des groupes selon les observations contenues ([Bardos, 2001](#)). L'analyse canonique des corrélations permet d'explorer les relations potentielles entre deux groupes de variables quantitatives observées sur le même échantillon ([Betoule et al., 2014](#); [Chen et al., 2018](#); [Diel et al., 2020](#); [ÖZEN et al., 2021](#)). Les modèles d'équations

structurelles servent à étudier les relations entre les variables d'un modèle et à valider des mesures (Fornell & Larcker, 1981 ; Pupion, 2012). La régression logistique permet quant à elle d'étudier les relations entre un ensemble de variables qualitatives et une variable qualitative. Elle a l'avantage de prédire la probabilité qu'un événement arrive ou non à partir d'une optimisation des coefficients de la régression (Hosmer Jr et al., 2013 ; Berkson, 1951). Enfin, les méthodes des arbres de décision sont utilisées soit pour des classifications soit pour des régressions, ils permettent de construire des règles de décision pour classer les observations avec une exactitude maximale (Quinlan, 1993).

Par exemple, S. Johnson et al. (2010) ont utilisé une méthode de régression logistique pour déterminer si certains facteurs socio-économiques impacteraient le niveau de la maladie des patients atteints de cancers de la tête et du cou. Les résultats de l'étude ont révélé, entre autres, que les patients de sexe masculin présentaient un stade plus avancé de cancer, que les patients de sexe féminin. Madhu et al. (2014) a étudié, quant à lui, l'influence du lieu de résidence et du statut socio-économique sur l'incidence ou la sévérité du cancer du sein dans le sud du Karnataka en Inde. Ils ont utilisé une régression logistique multinomiale pour déterminer les facteurs associés au cancer du sein. Leurs résultats ont montré, entre autres, que les facteurs tels que l'analphabétisme, l'âge de la femme ( $< 40$  ans) et l'appartenance à une famille nucléaire, accroissent les risques de cancer du sein dans les familles à revenu moyen et faible par rapport aux familles à revenu élevé. Ur Rahman et al. (2021) ont analysé, selon les statuts socio-économiques, l'impact économique du Covid-19 sur les ménages. Ils ont utilisé une méthode de régression logistique binaire par étapes et ont montré que les ménages pauvres étaient plus touchés par les effets négatifs de la crise du COVID-19 (parce que moins résilients) que les ménages à revenu élevé (qui avaient une bonne résilience). P. Anderson et al. (2021) ont fait une analyse socio-économique pour déterminer les facteurs qui pourraient influencer les ménages britanniques pour l'achat et la consommation de bière sans alcool ou à faible teneur en alcool. Ils ont utilisé un modèle de régression logistique binaire et des analyses multivariées. Les résultats ont montré que les ménages plus jeunes, qui ont un niveau de revenu élevé et dont le niveau social est plus élevé sont ceux qui sont plus enclins à l'achat et à la consommation de bière sans alcool ou en faible teneur d'alcool. Enfin, dans une analyse socio-économique sur la culture et le développement local Huggins et Thompson (2015) ont également utilisé un modèle

logistique pour déterminer les facteurs qui favorisent le lien entre ces deux facteurs.

L'analyse multivariée apparaît ainsi comme une méthode appropriée pour l'analyse des facteurs socio-économiques et techniques du phénomène du dépérissement. Elle doit permettre, à travers l'utilisation de base de données issues d'enquêtes réalisées dans le cadre du Plan National Dépérissement du Vignoble, de déterminer les facteurs les plus discriminants de ce phénomène à l'échelle d'une exploitation viticole. Nous présentons dans la section suivante notre échantillon d'étude (Section 4.3), avant de présenter les méthodes appliquées (Section 4.4).

## 4.3 Données et statistiques descriptives

Dans cette analyse, nous utilisons deux bases de données issues d'enquêtes réalisées dans le cadre du Plan National Dépérissement du Vignoble en France. La première base de données mise à notre disposition a été constituée par le Bureau d'informations et de prévisions économiques (BIPE) à travers une enquête menée en 2015 ([FranceAgriMer CNIV BIPE, 2018](#)). La seconde base de données est issue d'une enquête en ligne réalisée par le Comité National des Interprofessions des Vins à appellation d'origine et à indication géographique (CNIV) en 2017.

### 4.3.1 Base de données du BIPE

#### 4.3.1.1 Description de la base de données du BIPE

Cette base de données a été obtenue à partir d'un questionnaire élaboré par le cabinet BIPE en 2015 à la demande du Plan National Dépérissement du Vignoble. Il s'agit d'une base brute, sous forme de fichier Excel, mise à notre disposition par le PNDV. Elle est composée de 800 colonnes (les questions) pour 500 lignes (les exploitations), avec de nombreuses valeurs manquantes. Les colonnes représentent les questions du questionnaire qui contenait au total 100 questions structurées en 8 catégories : Portrait du chef d'exploitation, Description générale de l'exploitation, Éléments comptables, Matériel végétal, Clé d'arbitrage de l'itinéraire technique, Description de l'itinéraire technique par parcelle, Main-d'oeuvre, Formation et Externalisation et projets. En plus des questions liées à chaque catégorie, il y avait des questions préliminaires relatives au département dans lequel se situe l'exploitation, aux surfaces agricoles utiles de vigne

(SAU), au modèle coopérateur/non coopérateur, et à la perception des viticulteurs sur l'état de leur exploitation en matière de dépérissement.

### ► Nettoyage de la base et recodage des variables

Pour notre analyse économique, nous utilisons les variables des 5 catégories de la base de départ (Portrait du chef d'exploitation ; Description générale de l'exploitation ; Eléments comptables ; Main d'oeuvre, Formation et externalisation ; et Vos projets) en plus des questions préliminaires. Le nettoyage de la base de données a été réalisé dans le cadre du stage de Master 2 d'Adetou Afi Etonam en 2020. Ainsi, la base de données reconstituée pour analyse, est une base constituée de 194 colonnes pour 125 lignes. Lors du nettoyage de la base, nous avons remarqué que certaines colonnes avaient pour nom les modalités de certaines questions et au niveau de certaines colonnes. Par exemple, dans une question, il était demandé de dire si, depuis 2010, l'évolution du chiffre d'affaires était liée à l'évolution des facteurs qui ont été listés ensuite en tant que modalités, et dans une autre question, il était demandé de préciser le facteur principal ayant influencé le chiffre d'affaires. En analysant les réponses obtenues au niveau des deux questions, nous avons réalisé que la seconde question n'avait pas de raison d'être, car sa réponse était déjà incluse dans la première. À cet effet, nous avons supprimé les colonnes relatives à cette deuxième question.

Après l'étape du nettoyage, nous avons recordé les noms des colonnes en créant des variables utilisables pour la suite de l'analyse, en se basant sur le questionnaire. Nous avons donc obtenu une base finale comprenant 186 colonnes pour 125 lignes. Par la suite, nous avons créé un dictionnaire qui permet de relier les variables (noms des colonnes) aux questions du questionnaire.

### ► Nombres de valeurs manquantes de la base BIPE

La base de données contenait au total 282 valeurs manquantes, soit une proportion de 1,2%. Cette proportion de valeurs manquantes est relativement faible. Par la suite, nous avons choisi une méthode d'imputation de données manquantes afin d'utiliser une base sans valeur manquante pour la suite de l'analyse.

Par ailleurs, la moitié des questions a obtenu une réponse de la part des répondants (Figure 4.1a) et la moitié des répondants ne répond pas à une question (Figure 4.1b). De plus, nous avons observé qu'il y a plus de valeurs manquantes (5%) au niveau des catégories Main d'oeuvre,

Formation et externalisation, par rapport aux autres catégories (Figure 4.1c).

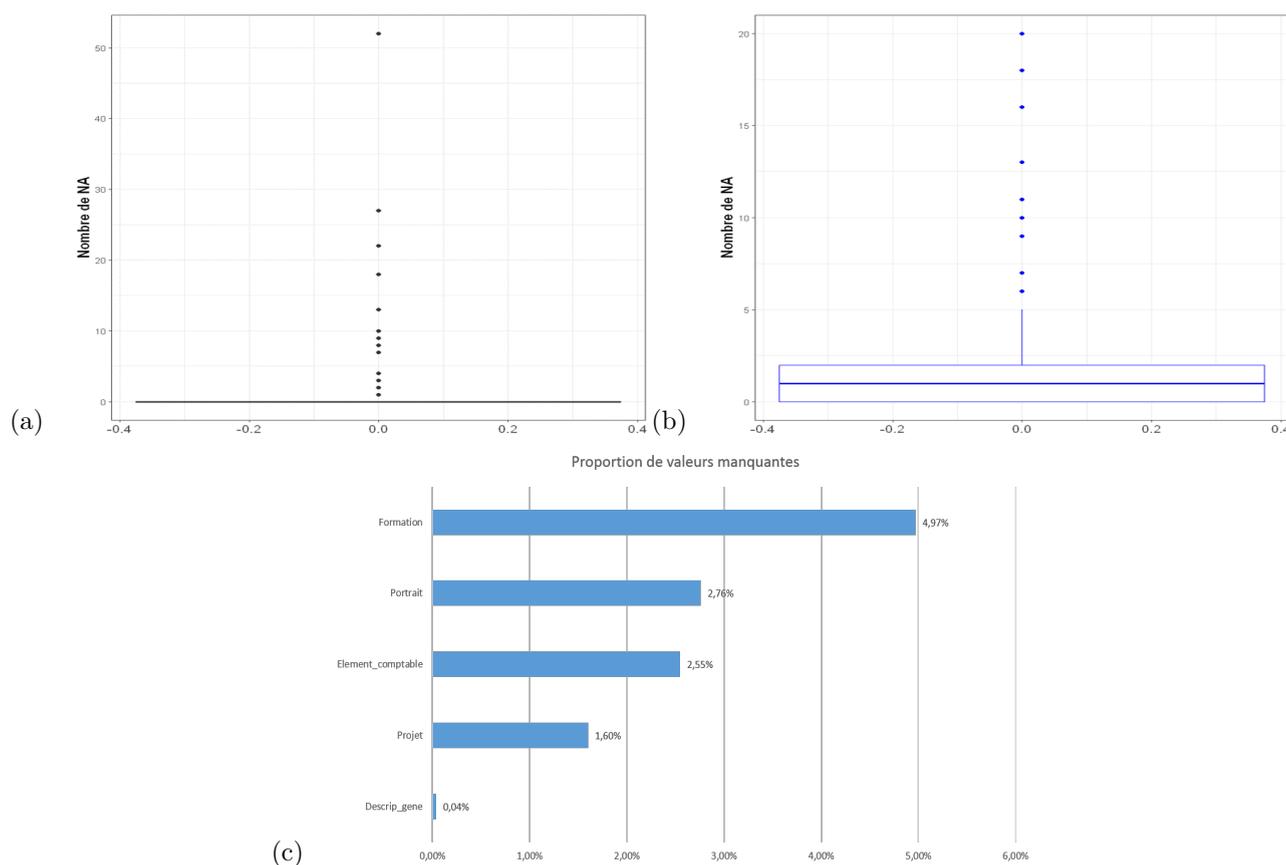


FIGURE 4.1 – Nombre de valeurs manquantes (NA) par (a) question et (b) questionnaire (c) Proportions de valeurs manquantes par catégorie

Afin de pouvoir faire ressortir les statistiques descriptives des variables, nous avons procédé à une transformation de la base de données qui était large (plus de colonnes que de lignes) en une base longue (plus de lignes que de colonnes), en mettant les modalités de certaines questions, qui étaient en colonnes, en lignes. Ainsi, nous avons fait ressortir les statistiques descriptives d'une base de données ayant 87 variables pour 125 observations.

#### 4.3.1.2 Statistiques descriptives : Base BIPE

Dans cette partie, nous présentons les statistiques de certaines variables qui seraient, selon la littérature, des facteurs importants pour une exploitation viticole (BIPE, 2015; Riou et al.,

2016 ; Mahé et al., 2019 ; PNDV, 2020). Les statistiques des variables sont présentées dans la figure 4.2. Si on considère tout d'abord la localisation des exploitations, la figure 4.2a présente la proportion des exploitations selon leur localisation géographique. On note que 29% des exploitations enquêtées sont situées dans le bassin de la Bourgogne, 24%, dans le Val de Loire, 22%, dans la région de Bordeaux, 15% dans le Beaujolais et 10% dans la Vallée du Rhône.

Ensuite, la figure 4.2b présente la proportion des exploitations selon leur mode de conduite de la vigne. On note que, dans cet échantillon, 50% des exploitations déclarent pratiquer une agriculture raisonnée<sup>4</sup> ou une agriculture en transition vers l'agriculture biologique, 37% déclarent pratiquer une viticulture conventionnelle et 13%, une agriculture biologique.

Enfin, la figure 4.2c présente la proportion des exploitations de l'échantillon selon leur statut coopérateur ou non. On note que 54% des exploitations déclarent ne pas adhérer à une cave coopérative et 39% des exploitations déclarent être engagées au sein d'une cave coopérative.

La perception qu'ont les viticulteurs du dépérissement est représentée sur la figure 4.2d en fonction de leur perception du niveau du dépérissement sur une échelle de 0 (qui signifie que le viticulteur perçoit que l'exploitation n'est pas touchée par le dépérissement) à 3 (qui signifie que l'exploitation est très touchée). On note que 2% des exploitations estiment ne pas être touchées par le dépérissement et 26% estiment être touchées par le dépérissement.

La base de données issue de l'enquête a déjà été analysée par le BIPE, à travers une analyse bivariable et menée sur des exploitations réparties dans des classes définies a priori (régions, tailles, stratégies de valorisation, etc.) (FranceAgriMer CNIV BIPE, 2018 ; BIPE, 2016) dont nous avons énoncé les résultats et les limites dans l'introduction du présent chapitre. Notre objectif était initialement de mener une analyse multivariée plus adaptée à l'étude des phénomènes multifactoriels comme le dépérissement de la vigne. En effet, comme développé dans la section 4.2.2, l'analyse multivariée, contrairement à l'analyse bivariable, permet de prendre compte dans l'analyse de multiples facteurs simultanément. Cependant, nous avons constaté que la base de données contenait des lignes masquées qui ont plusieurs valeurs manquantes et des noms de colonnes incompréhensibles. Afin de mieux comprendre la base et de connaître les critères à

---

4. L'agriculture raisonnée se définit par un mode de production basé sur une approche globale de l'exploitation qui intègre les aspects économiques, qualitatifs, sociaux et environnementaux dans sa gestion. Autrement dit, l'agriculture raisonnée cherche à prendre en compte de manière équilibrée les objectifs des producteurs, les attentes des consommateurs et le respect de l'environnement dans les pratiques quotidiennes (<https://www.actu-environnement.com/ae/news/1477.php4>).

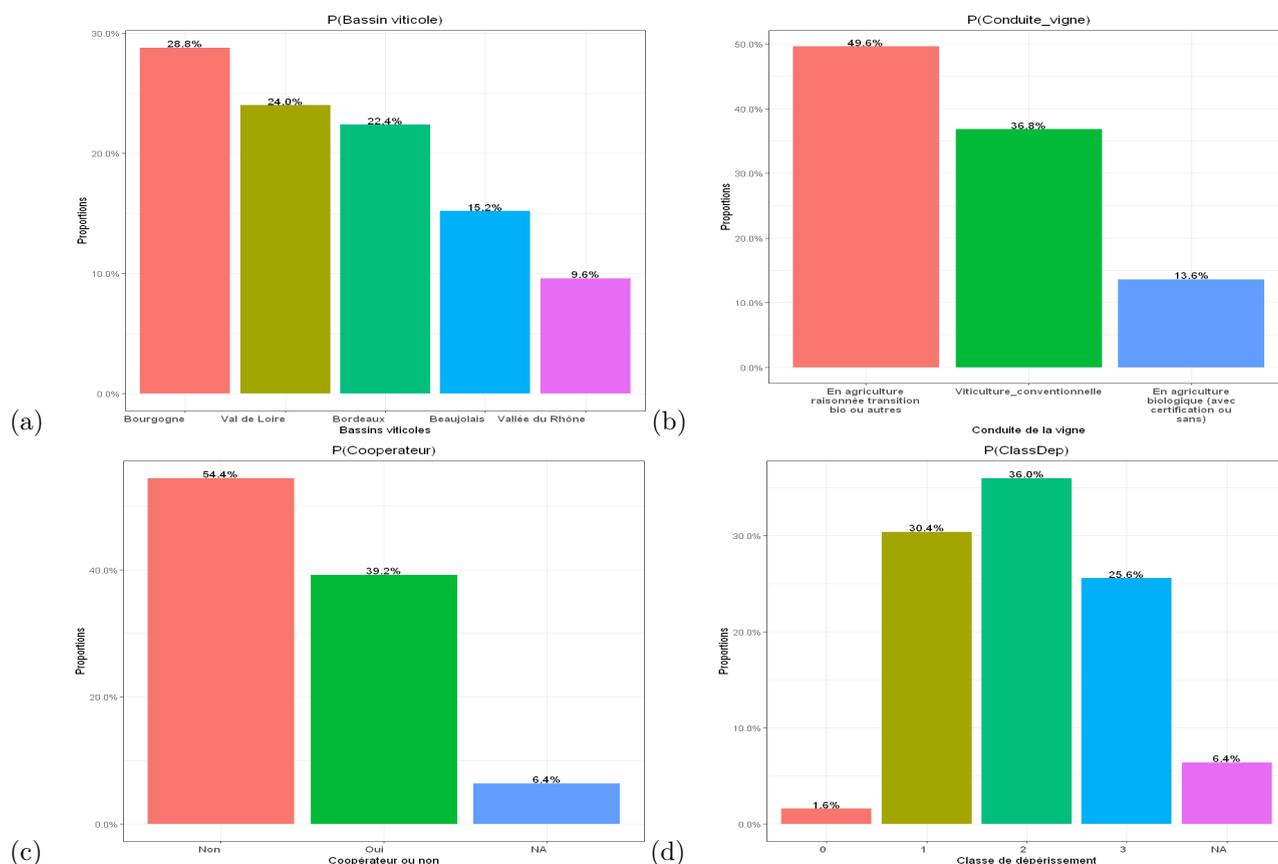


FIGURE 4.2 – Histogrammes selon les réponses des exploitants

(a) Localisation de l'exploitation selon le bassin viticole (b) Mode de conduite de la vigne (c) Adhésion en cave coopérative (d) Niveau de dépérissement du vignoble

partir desquels certaines lignes ont été masquées, nous avons pris contact avec l'un des agents du BIPE. Mais nous n'avons obtenu aucune justification qui nous permette de mieux traiter la base. Nous avons également constaté que la base était construite à l'échelle de la parcelle, avec des niveaux de dépérissement différents, qui ne permettait pas de travailler sur les facteurs socio-économiques et socio-techniques du dépérissement à l'échelle des exploitation agricoles. Nous avons donc mis en pause l'analyse de cette base de données. Pour la suite de notre analyse, nous utiliserons une autre base de données qui sera décrite dans la section suivante.

### 4.3.2 Base de données du CNIV

Pour la suite de notre analyse, nous utilisons la base de données du Comité National des Interprofessions des Vins à appellation d'origine et à indication géographique (CNIV) en 2017

également mise à notre disposition par le PNDV dans le cadre de la thèse. La description, le nettoyage et les statistiques descriptives de cette base de données sont développés dans cette section.

#### 4.3.2.1 Description générale de la base de données du CNIV

Pour cette enquête, le CNIV s'est basé sur le questionnaire d'enquête précédemment élaboré par le cabinet BIPE, ainsi que sur les résultats des analyses issues de la collecte de données afin de créer un nouveau questionnaire réduit. Le questionnaire initialement proposé pour l'étude du BIPE était composé de 100 questions. Suite à des analyses statistiques effectuées par le CNIV (Mahé et al., 2019), seule une vingtaine d'entre elles a été retenue pour constituer un questionnaire réduit (disponible en Annexe A.1). Ce nouveau questionnaire a été plus adapté aux besoins de l'étude (créer un outil d'aide à la décision) et les questions ont été facilitées pour aider les viticulteurs dans leurs réponses (questions simplifiées, temps de réponse plus court, environ 15 min contre 1h précédemment) pour l'ensemble du questionnaire. Le CNIV a développé par la suite un outil d'auto-diagnostic du niveau de dépérissement des exploitations en se basant sur un dictionnaire d'épidémiologie (Allard & Loslier, 1988). La mise en ligne de ce questionnaire a permis de réaliser une nouvelle enquête basée sur un outil d'auto-évaluation dont l'objectif est d'évaluer les risques auxquels sont exposés les exploitations en matière de dépérissement après avoir répondu au questionnaire réduit. Dans la base de données du CNIV, la variable *Évaluation du dépérissement* est obtenue par l'outil d'auto-évaluation mis en ligne pour les viticulteurs afin de leur permettre d'estimer le risque de leur exploitation face au dépérissement. La variable *évaluation* classe les exploitations selon trois profils : dépérissant, intermédiaire, est non dépérissant. Cette variable est obtenue par le croisement de deux dimensions : la dimension longévité et la dimension rendement. La méthode de calcul d'outil d'auto-évaluation est détaillée dans l'annexe A.5

La base de données obtenues est une base brute, en fichier Excel comprenant 30 variables pour 207 exploitations .

#### ► Nettoyage de la base et recodage des variables (Réalisé par le stage)

Afin de mieux explorer cette base de données, nous avons renommé les noms des colonnes de

cette base, qui n'étaient que des numéros de questions, en se basant sur le questionnaire réduit mis à notre disposition. Par la suite, nous avons créé un dictionnaire qui permet de relier les variables (noms des colonnes) aux questions du questionnaire (Tableau A.2 en Annexe A). La base de données obtenue à la suite du nettoyage de la base brute est une base (en fichier Excel) de 207 observations pour 26 variables.

#### ► Nombres de valeurs manquantes de la base CNIV

La base de données contient au total 913 valeurs manquantes. Nous avons observé que certains exploitants n'ont renseigné ni leur nom, ni leur email. Nous avons donc écarté ces variables afin d'obtenir le nombre de valeurs manquantes effectif. Ainsi, nous obtenons 663 valeurs manquantes, sans ces variables "name" et "email", soit une proportion totale de 17% et 14% sans les variables "name" et "email". Le nombre de valeurs manquantes par question est représenté dans le Tableau A.2 en annexe. L'absence de ces valeurs est liée à des non-réponses. Cela pourrait entraîner un biais important dans les estimations qu'il faudra prendre en compte dans l'analyse. Par ailleurs, en moyenne, 36 répondants n'ont pas répondu à une question et 26 répondants n'ont pas répondu à la moitié des questions. De plus, 125 répondants n'ont pas répondu à au moins une question selon la Figure 4.3a.

En ce qui concerne le nombre de valeurs manquantes par questionnaire, selon la Figure 4.3b, les répondants n'ont pas répondu à 4 questions en moyenne. Ainsi, la moitié des répondants (50%) n'ont pas répondu à 3 questions et la majorité (Q3) à 4 questions. Par ailleurs, la moyenne est légèrement supérieure à la médiane car peu de répondants n'ont pas répondu à plusieurs questions. Il existe ainsi plusieurs valeurs aberrantes. Pour la suite de notre analyse, nous allons transformer ces valeurs aberrantes en valeurs manquantes que l'on imputera, et ce afin de ne pas supprimer ces répondants de la base de données (Voir section 4.3.2.3).

#### 4.3.2.2 Statistiques descriptives de la base de données du CNIV

Les statistiques descriptives de la base de données du CNIV sont présentées dans cette section. Dans un premier temps, nous faisons ressortir les statistiques des variables quantitatives

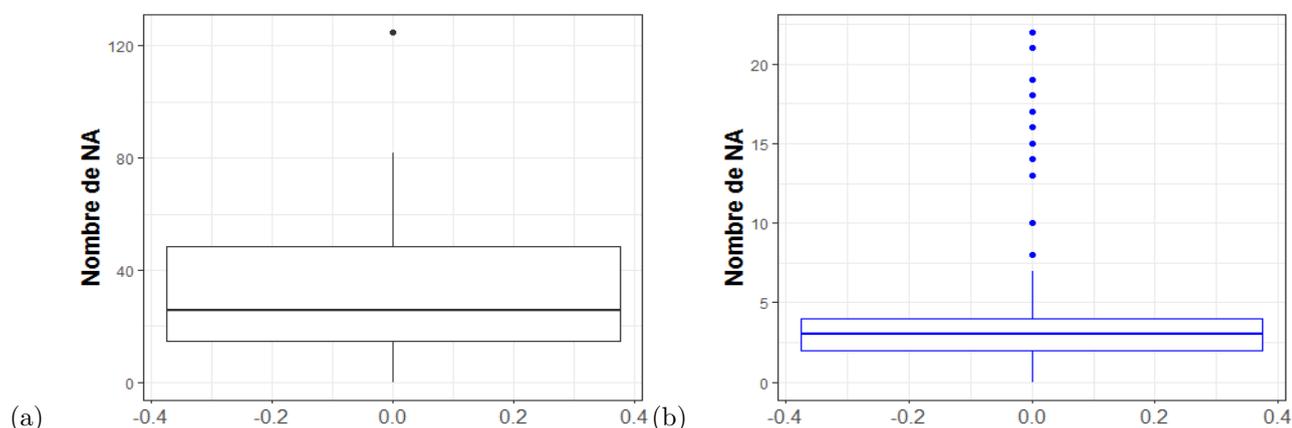


FIGURE 4.3 – Nombre de valeurs manquantes (NA) par (a) question et (b) questionnaire.

et dans un second temps, celles des variables qualitatives.

#### a) Variables quantitatives

L'analyse statistique des variables quantitatives de la base de données donne les résultats résumés dans le tableau 4.1. D'abord, nous notons que la moyenne de la densité des parcelles de la base de données est de 5 926 pieds par hectare, avec une surface moyenne de parcelle de 2,3 ha et une surface moyenne d'exploitation de 22,82 ha. Cette moyenne de la superficie d'exploitation est supérieure à la moyenne nationale des vignes d'Appellation d'Origine Protégée (AOP) de 2020, qui est de 14,58 ha ([FranceAgriMer, 2020](#)). Le taux de ceps improductifs déclaré par les exploitants est en moyenne de 7,6 %, avec un maximum de 50 % et un minimum de 0 %. Ce taux est de l'ordre de 0,5 à 1% par an, selon l'article [Webzine \(2019\)](#) paru le 03/09/2019 sur le site du Plan National du Dépérissement du Vignoble (PNDV).

On note que les dépenses moyennes des viticulteurs en main-d'œuvre, matériel végétal et en produits phytosanitaires sont respectivement de 73 295 euros, de 5 657 euros et de 14 134 euros. Les viticulteurs enquêtés déclarent avoir en moyenne un rendement espéré de 53 hl/ha. Le rendement moyen est de 44 hl/ha, et donc inférieur au rendement espéré. Ce rendement est également inférieur à la moyenne nationale qui était de 50,8 hl/ha en 2018 ([FranceAgriMer, 2019](#)).

TABLE 4.1 – Statistiques descriptives des variables quantitatives

	cep_impro	densite_plant	evaluation	main_oeuvre	mat_veg	obj_rend	pied_mort	pro_phyto	rend_moy5	surface_exploi	surface_parcel
Mean	7.60	5936.81	1.07	73073.17	5656.85	53.15	176.13	14144.43	44.49	22.82	2.28
Std.Dev	9.89	2213.68	0.64	142263.19	19846.82	19.45	333.90	37257.05	24.16	42.02	5.48
Min	0.00	110.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
Q1	1.00	4000.00	1.00	9200.00	1000.00	45.00	15.00	3000.00	30.00	8.00	0.66
Median	4.00	5500.00	1.00	30000.00	2000.00	52.00	50.00	8000.00	45.00	14.00	1.00
Q3	10.00	7500.00	1.00	80000.00	5000.00	60.00	200.00	15000.00	58.00	23.00	2.00
Max	50.00	10000.00	2.00	1200000.00	225871.00	200.00	2000.00	450000.00	190.00	500.00	50.00

### b) Variables qualitatives

Nous présentons les statistiques de certaines variables sélectionnées dans la base qui représentent des facteurs importants selon la littérature, pour une exploitation viticole (BIPE, 2015 ; Riou et al., 2016 ; Mahé et al., 2019).

Les résultats sont représentés sur la figure 4.4. D’abord, nous présentons les statistiques relatives à la localisation des exploitations (figure 4.4a). On note que 17,39 % des exploitations se situent dans le bassin viticole de la Bourgogne, 14,49 % dans le Val de Loire, (13,53 %) dans le bassin viticole de Bordeaux, et 0,48 % en Corse. Ensuite, la figure 4.4b présente la proportion des exploitations en fonction du nombre de pratiques culturelles mises en œuvre pour lutter contre le dépérissement. On observe que les exploitations font une combinaison de 1 à 5 pratiques. 31,4 % des exploitations mettent en place deux pratiques spécifiques pour lutter contre le dépérissement, 25,12 % des exploitations mettent en place une seule pratique spécifique, 16,43 % mettent 3 pratiques spécifiques, 6,3 % en mettent 4 pratiques spécifiques et 0,5 % une combinaison de 5 pratiques spécifiques. La figure 4.4c présente les proportions des exploitations en fonction des pratiques mises en place. On note donc que, pour lutter contre le dépérissement, les exploitations utilisent plusieurs techniques. Enfin, la figure 4.4d présente les proportions des exploitations selon les modalités de la variable « Evaluation » obtenue par l’outil d’auto-évaluation. Cette variable est composée de trois modalités relatives au statut de l’exploitation : dépérisante, intermédiaire et non dépérisante. On note que 46 % des exploitations de l’échantillon sont dans une situation intermédiaire de dépérissement. 19 % des exploitations sont évaluées non dépérisantes et 14 % des exploitations sont évaluées comme dépérisantes. Les statistiques des autres variables sont présentées en Annexe A.2.

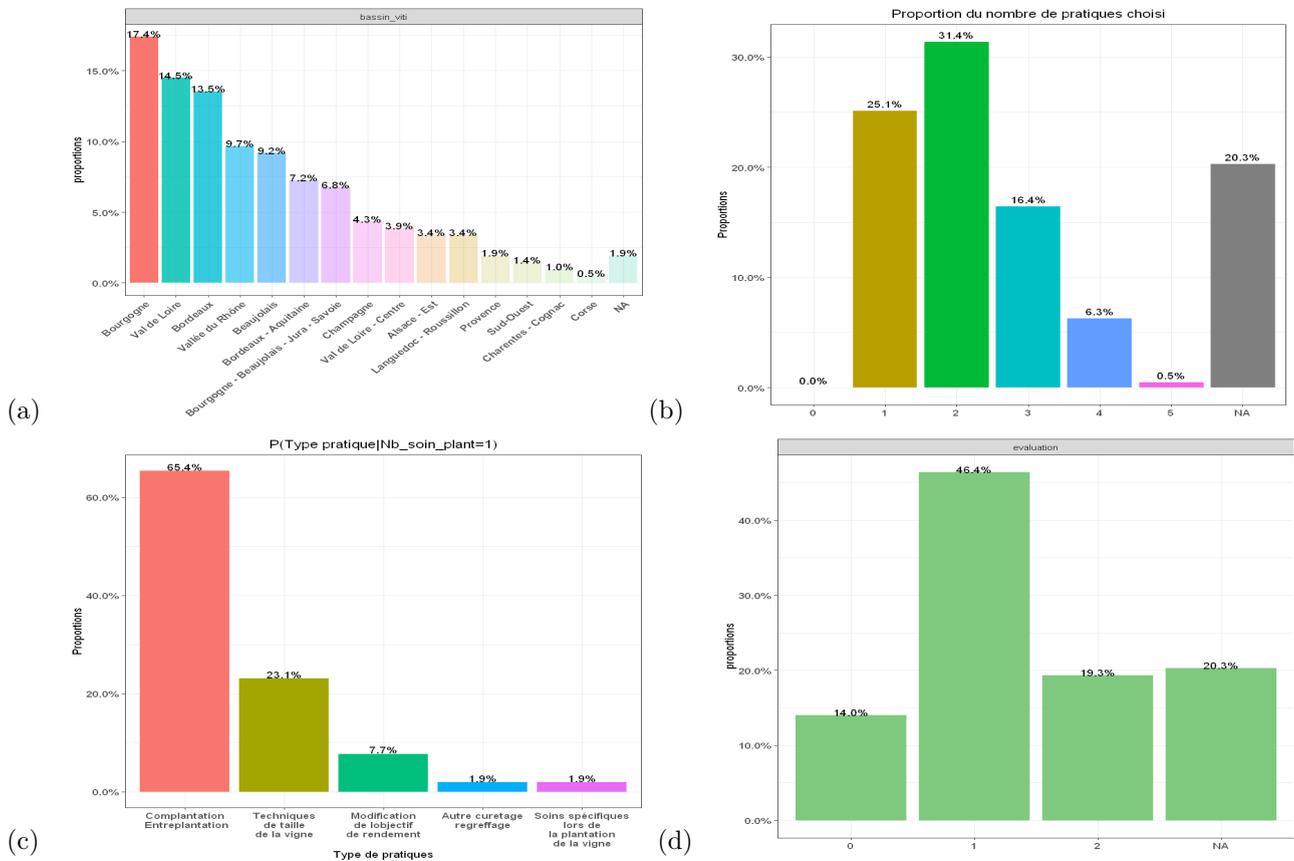


FIGURE 4.4 – Histogrammes selon les réponses des exploitants

(a) Localisation de l'exploitation selon le bassin viticole. (b) Proportion du nombre de pratiques choisies. (c) Proportion de types de pratiques pour un choix. (d) Auto-évaluation du niveau de dépérissement des exploitations via l'outil du CNIV

#### 4.3.2.3 Méthode d'imputation des valeurs manquantes

Nous utilisons une méthode d'imputation pour la gestion des valeurs manquantes. La gestion des données manquantes d'une base de données est une étape très importante de l'analyse. En effet, une mauvaise gestion peut entraîner d'énormes biais dans l'analyse et ainsi obtenir des résultats moins robustes (Junninen et al., 2004). Dans le cas de cette base de données, nous sommes en présence de données manquantes de type Missing Not At Random (MNAR). Ce sont les données manquantes dont la probabilité d'absence dépend de données également non observées (Crucianu et al., 2020). Plusieurs méthodes sont utilisées en statistiques pour

le complément ou l'imputation des données manquantes. Nous pouvons citer la méthode de l'imputation par une valeur unique telle que une valeur par défaut, une moyenne, une médiane (Tada et al., 2022); la méthode d'imputation par le centre du groupe (Zhu et al., 2021); la méthode d'imputation à partir des k plus proches voisins (Aydilek & Arslan, 2013); la méthode d'imputation par une moyenne partielle (Lotspeich et al., 2022) et la méthode d'imputation par décomposition en valeurs singulières (García-Peña et al., 2021).

Pour l'imputation des valeurs manquantes, nous utilisons la méthode d'imputation par une moyenne partielle, car elle est plus adaptée à notre cas d'étude. En effet, cette méthode stipule que, lorsque les observations sont décrites par une variable nominale importante appelée « classe », il est possible de faire l'imputation à partir de cette variable commune. Ainsi, si une observation a des valeurs manquantes et appartient à une certaine classe, les observations complètes de la même classe peuvent être plus pertinentes que les autres pour estimer ces valeurs manquantes. De ce fait, pour une observation appartenant à une classe, la valeur qui manque pour une des variables est estimée par la moyenne (ou par la médiane) des valeurs prises par cette variable sur les seules observations de la classe. La variable nominale choisie comme variable classe pour l'imputation est la variable "bassin viticole", variable relative à la localisation des exploitations. Le choix est porté sur cette variable car elle a peu de valeurs manquantes (2 %, donc 4 observations) et nous avons supposé que les exploitants d'un même bassin peuvent adopter les mêmes pratiques pour leurs exploitations.

Dans un premier temps, nous avons visualisé les valeurs manquantes par bassin viticole et ensuite, nous avons procédé à l'imputation de ces valeurs en utilisant la moyenne pour les variables quantitatives et le mode pour les variables qualitatives. Par ailleurs, la variable « Evaluation » ne fait pas partie des variables dont les valeurs manquantes ont été imputées, car elle a été créée par les résultats de l'outil d'auto-évaluation. Par manque d'observations pour l'imputation des variables manquantes, certains bassins tels que la Champagne, la Corse et du Sud-Ouest ont été supprimés de la base de données.

## 4.4 Méthodologie

Nous utilisons différentes analyses multivariées adaptées pour l'étude de phénomènes multifactoriels. Nous retenons pour cette étude une méthode descriptive et deux méthodes explicatives pour plus de robustesse dans nos résultats. Dans un premier temps, nous faisons une analyse des correspondances multiples (ACM). Ensuite un modèle de régression logistique ordonnée et enfin des modèles d'arbre de décision.

### 4.4.1 Analyse des correspondances multiples (ACM)

L'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) est utilisée dans un premier temps pour le recoupement des classes. Elle permet de résumer et de visualiser des données contenant plus de deux variables catégorielles. L'objectif avec cette analyse est de mettre en évidence les relations dominantes entre les modalités des variables catégorielles initiales ou entre les observations et les modalités des variables catégorielles. Elle représente une généralisation de l'Analyse en Composantes Principales lorsque les variables à analyser sont catégorielles ([Abdi & Williams, 2010](#)).

► **Inertie totale du nuage de points**

$$Inertie = \left\{ \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P m_i \right\} - 1 \quad (4.1)$$

avec  $P$  le nombre de variable et  $m$  les modalités.

En général, les inerties portées par les premiers axes sont les moins élevées. Nous avons fait certaines transformations de variables pour la réalisation de l'ACM comme la transformation des variables quantitatives relatives aux dépenses des répondants en produits phytosanitaires, matériel végétal et main-d'œuvre, en variables qualitatives, afin de pouvoir les inclure dans l'ACM. Ensuite, nous avons créé trois variables binaires relatives aux pratiques culturales. Il s'agit de la pratique de la complantation, de la technique de taille de la vigne et de la pratique du curetage. L'introduction de ces variables ou pas dans l'analyse permettra d'évaluer l'importance de ces pratiques dans le risque de dépérissement. Ainsi, afin de faire ressortir l'effet de la mise en place de ces différentes pratiques dans le statut dépérissant ou non de l'exploitation, tout en

minimisant une potentielle endogénéité, deux analyses distinctes sont réalisées avec et sans les pratiques culturelles. Aussi, comme analyse de sensibilité aux données manquantes, nous faisons l'ACM avec les données manquantes imputées (77 observations pour 15 variables) et avec les données sans imputation (190 observations pour 15 variables). Dans chaque cas, nous faisons l'analyse avec les variables de pratiques et sans les variables de pratiques culturelles.

Les deux analyses comprennent trois variables qualitatives (la localisation des exploitations «bassin-viticole», la dimension longévité, la dimension rendement) et une variable quantitative (la surface de l'exploitation «surface-exploitation») ont été utilisées comme une variable illustrative ou supplémentaire et toutes les autres variables de la base comme des variables actives (Tableaux A.1).

La variable relative à la localisation des exploitations a été utilisée comme étant illustrative car elle a plusieurs modalités. Pour rappel, la variable générée par l'outil d'auto-évaluation «évaluation» a été construite sur la base des dimensions longévité et rendement (Mahé et al., 2019). Ainsi, afin d'éviter la multicollinéarité entre ces variables, nous avons ajouté ces variables relatives aux dimensions longévité et rendement en variables illustratives et gardé en variable active la variable générée par l'outil d'auto-évaluation « Evaluation » car elle représente l'indicateur du dépérissement qui est notre variable d'intérêt. Ces variables illustratives ne participent pas au calcul des valeurs propres et des vecteurs propres, car elles sont projetées *a posteriori* sur les plans factoriels déterminés par les variables actives. De plus, elles permettent de conforter l'interprétation des axes par des variables qui n'ont pas participé à leur construction (Abdesselam, 2019).

#### 4.4.2 Modèle logit ordonné

Nous utilisons dans un second temps un modèle logit ordonné pour l'analyse. La régression logistique est souvent utilisée pour les analyses multifactorielles (S. Johnson et al., 2010; Ur Rahman et al., 2021; P. Anderson et al., 2021). Le modèle permet de mettre en relation un ensemble de variables explicatives et une variable dépendante binaire ou à plusieurs modalités, comme cela est le cas dans notre étude. Nous optons particulièrement pour la régression logistique ordonnée pour la simple raison que nos variables dépendantes sont des variables qui ont des

modalités ordonnées. Le principe de la régression logistique ordonnée est de relier des probabilités cumulées du type logarithmique d'être à un niveau (modalité) égal ou inférieur au probabilité cumulées d'être niveau testé de la variable explicative (Fox & Hong, 2010 ; Asare & Mensah, 2020). L'idée est que le caractère ordonné de la variable rend l'attribution des valeurs à chaque résultat (modalité de la variable dépendante) non arbitraire (Wooldridge, 2002). Nous optons particulièrement pour la régression logistique ordonnée pour la simple raison que nos variables dépendantes sont des variables ordonnées composée des modalités.

Soit la variable dépendante  $Y$  composée de différentes modalités ( $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$ ). Soit un ensemble d'observations, représenté par le vecteurs  $X = (x_1, \dots, x_K)$ , associées à la variable réponse  $Y = (y_1, \dots, y_n)$  où chaque  $y_i$  est une variable ordinaire sur une échelle de  $1, \dots, K$ . Soit  $C_0$ ,  $C_1$  et  $C_2$  trois catégories représentant par exemple les statuts de dépérissement. Le modèle logit permet en général de calculer la probabilité qu'un individu  $i \in C_0$  ou  $C_1$  ou à  $C_2$  en fonction des variables explicatives  $X$  selon la formule suivante :

$$P(y_i \in Y | x_i) = \frac{x}{1 + e^{-x_i \alpha}} \quad (4.2)$$

Où  $\alpha$  est un coefficient qui capte l'effet de  $x$  sur  $Y$ .

Dans cette étude, nous calculons la probabilité qu'un exploitant ait répondu à un niveau inférieur ou égal à une modalité donnée d'une question. A ces données, on ajuste un vecteur de coefficient  $\alpha$  de longueur  $p$  et un ensemble de seuils  $\vartheta_1, \dots, \theta_{k-1}$  ou  $\vartheta_1 < \vartheta_2 \dots < \theta_{k-1}$ . Cet ensemble de seuils divise la droite numérique réelle en  $K$  segments disjoints, correspondant aux  $K$  niveaux de réponse. La formulation mathématique du modèle est la suivante :

$$P_r(y_i/x_i) = F^{-1}(\theta_i - \alpha x) \quad (4.3)$$

Avec  $F$  la fonction logistique calculée comme suit :

$$F(x) = \frac{\exp(x)}{1 + \exp(x)} \quad (4.4)$$

Avec  $P_r$  la probabilité cumulée que la réponse  $y$  soit au plus  $i$  est donnée par une fonction  $F$  (la fonction logistique) appliquée à une fonction linéaire de  $x$ . Nous supposons que  $y$  est un

vecteur non décroissant, c'est-à-dire  $y_i \leq y_{i+1}$ . La méthode d'estimation utilisée par la régression logistique est le modèle linéaire généralisé (GLM).

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \dots + \alpha_k x_{k1} + \dots + \alpha_K x_{K1} + \varepsilon_i \quad (4.5)$$

Avec  $\alpha_k$  l'effet de la variable  $x_k$  sur la variable réponse  $Y$  et  $\varepsilon$  le terme d'erreur.

Comme avec l'ACM, nous faisons la régression en utilisant les données avec et sans imputation des valeurs manquantes afin de produire une analyse de sensibilité aux données manquantes. La base de données a été divisée en deux parties distinctes : données d'ajustement (80%) et données de test (20%). À cet effet, le modèle a été ajusté sur les 80% et testé sur les 20%. Les données d'ajustement permettent de créer et d'entraîner le modèle tandis que les données de test permettent de tester la qualité prédictible du modèle et de mesurer sa performance sur de nouvelles données.

L'ajustement des données a été fait par l'utilisation de la fonction Cumulative Link Model (clm) du package Ordinal du logiciel R. Dans l'analyse, nous faisons varier la variable à dépendante.  $Y$  représente soit la variable relative à la dimension rendement « *Rendement* », soit la variable relative à la dimension longévité « *Longevite* », ou soit la variable au statut déperissement de l'exploitation « *ClassDep* ». Les modalités de la variable « *ClassDep* » sont : "*NonDeperissant*" = 0, "*Intermediaire*" = 1, "*Deperissant*" = 2. Ces modélisations distinctes permettent d'éviter la multicollinéarité entre les variables.

$$P(\textit{ClassDep}) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha_0 + \alpha_i X_i)}} \quad (4.6)$$

$$P(\textit{Rendement}) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha_0 + \alpha_i X_i)}} \quad (4.7)$$

$$P(\textit{Longévité}) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha_0 + \alpha_i X_i)}} \quad (4.8)$$

Avec  $X_i$  le vecteur des différents variables explicatives : *surface\_exploi*; *diplome*; *evo\_marge10*; *faire\_valoir*; *niveau\_env*; *recolte*; *stock14*; *taux\_dette*; *depMainOeuvre*; *depMatVeg* et *depProPhyto* Pour les analyses avec inclusion des variables relative aux pratiques culturelles, nous ajoutons les variables relatives à la mise en place de la complantation, du

curetage et de la technique de taille dans chaque équation.

### 4.4.3 Modèles d'arbres de décisions

La méthode des arbres de décision est adaptée pour l'analyse de grandes bases de données avec un nombre élevé de variables. Cette méthode permet de sélectionner les variables les plus intéressantes pour l'explication du dépérissement.

Soient les trois variables réponses  $(Y^1)$ ,  $(Y^2)$ ,  $(Y^3)$  respectivement relatives à la dimension longévité, à la dimension rendement et la variable relative à la dimension dépérissement qui résume les deux premières dimensions. Soit  $X^i$  l'ensemble des variables explicatives de la base de données. Les méthodes des arbres de décision permettent d'identifier au sein de l'ensemble  $X^i$ , les groupes de variables qui contiennent les informations les plus utiles pour l'explication des variables  $Y^1$ ,  $Y^2$  et  $Y^3$ .

#### 4.4.3.1 Méthode CART (Classification And Regression Trees)

La méthode CART est également une méthode utilisée en statistiques pour les analyses multivariées. Elle a été développée par [Breiman et al. \(1984\)](#). C'est une méthode explicative qui a pour avantage d'être basée sur un modèle non-paramétrique. Ce caractère fait que l'on n'a pas besoin d'hypothèse préalable sur les sujets de la base de données. De plus, cette méthode permet de sélectionner parmi les variables de la base, les variables importantes en tenant compte des interactions entre les variables pour l'explication du phénomène étudié. De plus, pas besoin d'une présélection des variables, le logarithme CART élimine les variables qui sont non significatives de la Matrice de données. La méthode CART a également pour avantage de gérer les valeurs aberrantes ([Timofeev, 2004](#)). En outre, les arbres de décision produisent des résultats qui sont faciles à expliquer au grand public. Et vu que les résultats de cette analyse socio-économique des facteurs du dépérissement ont pour but d'informer et d'aider les viticulteurs qui n'ont pas en générale des scientifiques, elle est particulièrement adaptée. On note une bonne lecture et détermination des facteurs les plus discriminants avec une estimation de la probabilité d'appartenance.

La méthode CART est très utilisée dans la littérature dans différents domaines. En effet, cette

méthode permet d'obtenir, globalement, une plus grande précision que les modèles de régression linéaire (Wang et al., 2018). Par exemple, (Choubin et al., 2018) ont analysé les méthodes pour étudier la prévision des précipitations. Ils ont comparé la méthode CART à différentes approches telles que les modèles ANFIS et ARIMA. Leurs résultats ont montré que les prévisions obtenues avec la méthode CART étaient meilleures que celles des autres modèles. L'objectif de l'algorithme CART est de maximiser à chaque nœud de l'arbre de décision, l'homogénéité du nœud et donc de minimiser la fonction d'impureté  $\Delta_i(t)$  ou l'hétérogénéité des nœuds sous une condition. Cette fonction d'impureté est fonction du nœud principal (ou parent) et des nœuds secondaires (ou enfants) et de leurs probabilités (Breiman et al., 1984).

$$\operatorname{argmax}_{\leq x \leq} [\Delta_i(t)] \quad (4.9)$$

Les arbres de décision sont particulièrement utiles pour résoudre deux types de problèmes, à savoir les problèmes de classification et les problèmes de régression (Breiman et al., 1984; Breiman, Friedman, Olshen, & Stone, 2017). Dans le cas d'une classification, comme ça l'est dans cette étude, la variable à expliquer est une variable catégorielle ou qualitative. Soit  $y \in \{1, \dots, Z\}$  les modalités de la variable  $Y$  et  $c$  le classifieur de Bayes défini par l'équation 4.10.

$$c(x) = \operatorname{argmax}_{z \in y} [P(Y = z | X = x)] \quad (4.10)$$

L'objectif est de trouver la fonction de classifieur  $c$  qui maximise la règle de classification. Cela permet d'obtenir la meilleure classification.

Cependant la méthode CART a certains inconvénients qui fragilisent la robustesse des résultats. D'abord, l'instabilité des arbres de décision obtenus. En effet avec cette méthode, une modification, minime soit-elle, de l'échantillon d'apprentissage peut induire un changement total des résultats de l'arbre. Elle est donc moins robuste à l'analyse de sensibilité de l'échantillon. Ensuite, l'algorithme CART ne fait la division des nœuds pour la formation des arbres que par une seule variable. Le problème survient lorsque le nuage de points du jeu de données est plus complexe pour faire des divisions de manière horizontale à l'axe comme l'algorithme à l'habitude (Timofeev, 2004). Enfin, la méthode CART peut avoir une faible qualité prédictive (Brodley & Utgoff, 1995). Dans le but de tenir compte de ses limites, nous utilisons dans la suite de

l'analyse une autre méthode explicative de l'analyse multivariée qui est la méthode Random forest ([Herman & Schumacher, 2018](#)).

#### 4.4.3.2 Méthode Random Forest (RF)

La méthode Random Forest est une méthode qui utilise le même algorithme que la méthode CART pour la création d'un ensemble d'arbres de décision. Comme son nom l'indique, c'est une méthode qui va créer une forêt d'arbres de décision du type CART sur des sous-ensembles, tirés aléatoirement, de l'échantillon (le tree bagging) et des variables (le feature sampling). C'est un processus de double tirage. L'algorithme va, par la suite, agréger les différentes prédictions de chaque arbre CART dans le but de construire une prédiction globale de l'échantillon. Cette prédiction globale est la moyenne de tous les arbres ([Breiman, 2001](#) ; [Herman & Schumacher, 2018](#)). La méthode Random Forest permet de pallier les limites de la méthode CART, surtout celles de l'hypersensibilité des résultats à un changement dans l'échantillon ([Herman & Schumacher, 2018](#)). En effet, la méthode Random Forest permet de produire un ensemble (forêt) d'arbre de décision dans lequel chaque arbre est unique. Et cela par le biais d'une technique Bootstrap (amorçage). Cette méthode a été utilisée dans différentes études de prévision ([Ahijevych et al., 2016](#) ; [Herman & Schumacher, 2018](#) ; [Zarei et al., 2021](#) ; [F. Zhao et al., 2022](#)). L'algorithme du Random Forest permet donc d'obtenir différents arbres, car celui-ci produit une forêt aléatoire d'arbres faiblement corrélés. La moyenne des arbres non corrélés ou faiblement corrélés permet une réduction importante de la variance.

$$RF = Treebagging + Featuresampling \quad (4.11)$$

Comme décrit succinctement plus haut, le tree bagging et le feature sampling constituent le processus de double sélection du Random Forest. Le tree bagging est l'étape à laquelle les observations (lignes de la matrice) sont sélectionnées aléatoirement. Le feature sampling représente le processus de sélection des variables de la base (sélection de l'information). Ce processus permet la création de différents arbres sur la base d'informations différentes. Cela permet l'indépendance entre les arbres et ainsi réduit fortement la corrélation ([Breiman, 2001](#)).

## 4.5 Résultats

Nous présentons dans cette section les résultats des différentes analyses. D'abord, nous présentons ceux de l'analyse des correspondances multiples, ensuite les résultats de la régression logistique et enfin ceux des analyses d'arbres de décision.

### 4.5.1 Analyse des correspondances multiples (ACM)

L'analyse des correspondances multiples est réalisée d'une part, avec l'inclusion des variables relatives aux pratiques culturelles et d'autre part, sans les variables relatives aux pratiques culturelles. L'idée était d'isoler les facteurs liés aux méthodes de lutte contre le dépérissement lorsqu'elles sont adoptées par les exploitations de la base de données.

#### 4.5.1.1 ACM sans les variables de pratiques

##### 4.5.1.1.1 Analyse de l'inertie des axes factoriels

L'analyse de l'inertie des axes factoriels permet d'évaluer la structure des variables et de déterminer le nombre optimal de composantes à étudier. L'ACM réalisée sur les données imputées présente une inertie totale de 19,2 % sur les deux premiers axes. La variabilité totale du nuage de points est donc représentée à 19,2 % par le plan. Concernant l'ACM sur les données non imputées, l'inertie totale des deux premiers axes est de 19,8 %. Pour les deux ACM, nous avons obtenu 21 composantes principales. Les calculs ont été faits par une soustraction entre le nombre de modalités et le nombre de variables. Dans le cas d'étude, le nombre de modalités  $q$  est égal à 32 et le nombre de variables actives  $p$  est égal à 11. Ainsi, le nombre de composantes principales  $r = 32 - 11 = 21$ . Ces composantes, ainsi que les pourcentages des variances expliquées par les 10 premières composantes sont illustrés dans la figure 4.5.

##### 4.5.1.1.2 Interprétations des résultats

Les résultats de l'ACM sont représentés par les figures 4.6a (données avec imputations) et 4.6b (données sans imputations). Les individus qui sont les exploitants sont illustrés par les points bleus, les modalités des variables actives par les triangles rouges et les modalités de la

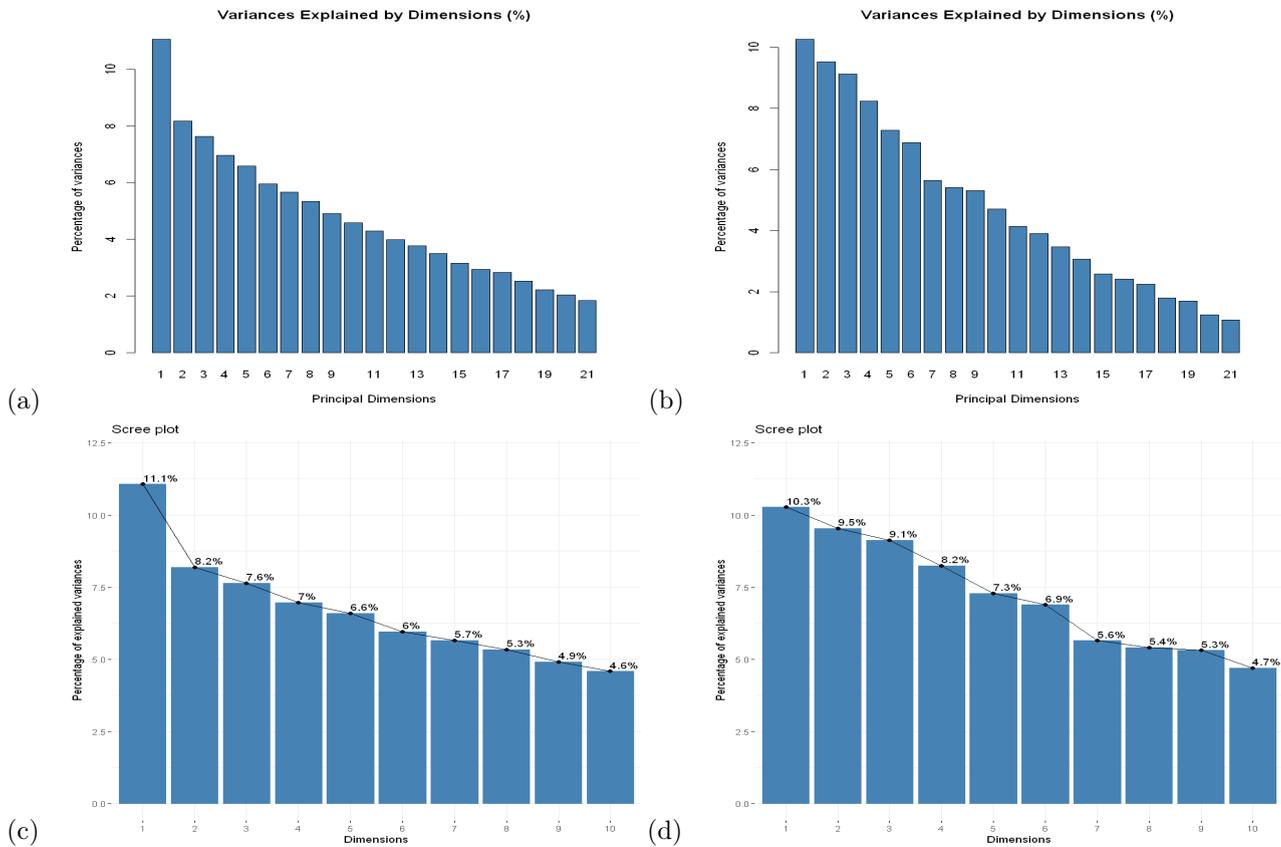


FIGURE 4.5 – Histogrammes des composantes principales et des pourcentages de variances expliqués

(a) Les composantes principales obtenues avec les données avec imputations et sans variables de pratique. (b) Les composantes principales obtenues avec les données sans imputations et sans variables de pratique. (c) Les pourcentages de variances expliqués par les composantes principales obtenues avec les données avec imputations et sans variables de pratique. (d) Les pourcentages de variances expliqués par les composantes principales obtenues avec les données sans imputations et sans variables de pratique.

variable illustrative par les triangles en vert. On rappelle que la distance entre les individus donne une mesure de leur similitude ou dissemblance, les individus avec un profil similaire étant plus proches sur le graphique. Les proximités entre les modalités sur le plan traduisent une association forte entre ces modalités.

Sur la représentation des ACM de la figure 4.6, on constate que le nombre élevé d'observations et de variables rend les regroupements des individus et des modalités des variables peu visibles. Pour améliorer cette visibilité, nous supprimons des graphiques les individus (figure 4.7).

Les figures 4.7a et 4.7b représentent les relations entre les catégories des variables avec des données imputées et sans les données imputées. L'ACM regroupe les catégories avec un profil similaire et positionne sur les côtés opposés de l'origine du graphique (quadrants opposés) les catégories corrélées négativement. La distance entre les catégories et l'origine mesure la qualité de ces catégories dans le modèle. En effet, plus les modalités des variables sont éloignées de l'origine, plus elles sont bien représentées et plus elles contribuent à la formation des axes. Les modalités qui contribuent plus à la formation des axes factoriels sont celles dont l'inertie relative par rapport à l'axe dépasse  $1/q$ ,  $q$  étant le nombre de modalités. Nous avons au total 32 modalités en ce qui concerne l'analyse sans les variables de pratique. À cet effet, pour chaque axe, nous retiendrons les modalités dont l'inertie relative par rapport à l'axe dépasse 0,031, soient 3,1 % (cf Annexe A.3, A.5, A.4, A.6).

Pour les données avec imputations, le premier axe (axe des abscisses) résume plus de 11 % de la liaison entre les variables et oppose en général les exploitations dépérissantes et intermédiaires (à gauche) des exploitations non dépérissantes (à droite). Le second axe (axe des ordonnées) qui résume 8,2 % de la liaison, oppose plus clairement les groupes des exploitations selon leur statut dépérissant ou intermédiaire (en haut) et non dépérissant (en bas). Nous notons également que l'opposition entre les groupes dépérissant ou non est plus organisée autour de la première bissectrice. La deuxième bissectrice partage les exploitations majoritairement selon le niveau de dépense de main-d'œuvre, de matériels végétaux et de produits phytosanitaires, d'une part un niveau inférieur et d'autre part un niveau supérieur.

D'abord, lorsque nous observons le deuxième axe de la figure 4.7a, nous notons que le groupe d'individus dont les exploitations sont non dépérissantes (en bas de l'axe) est caractérisé par les modalités les plus proches de la variable non dépérissante.

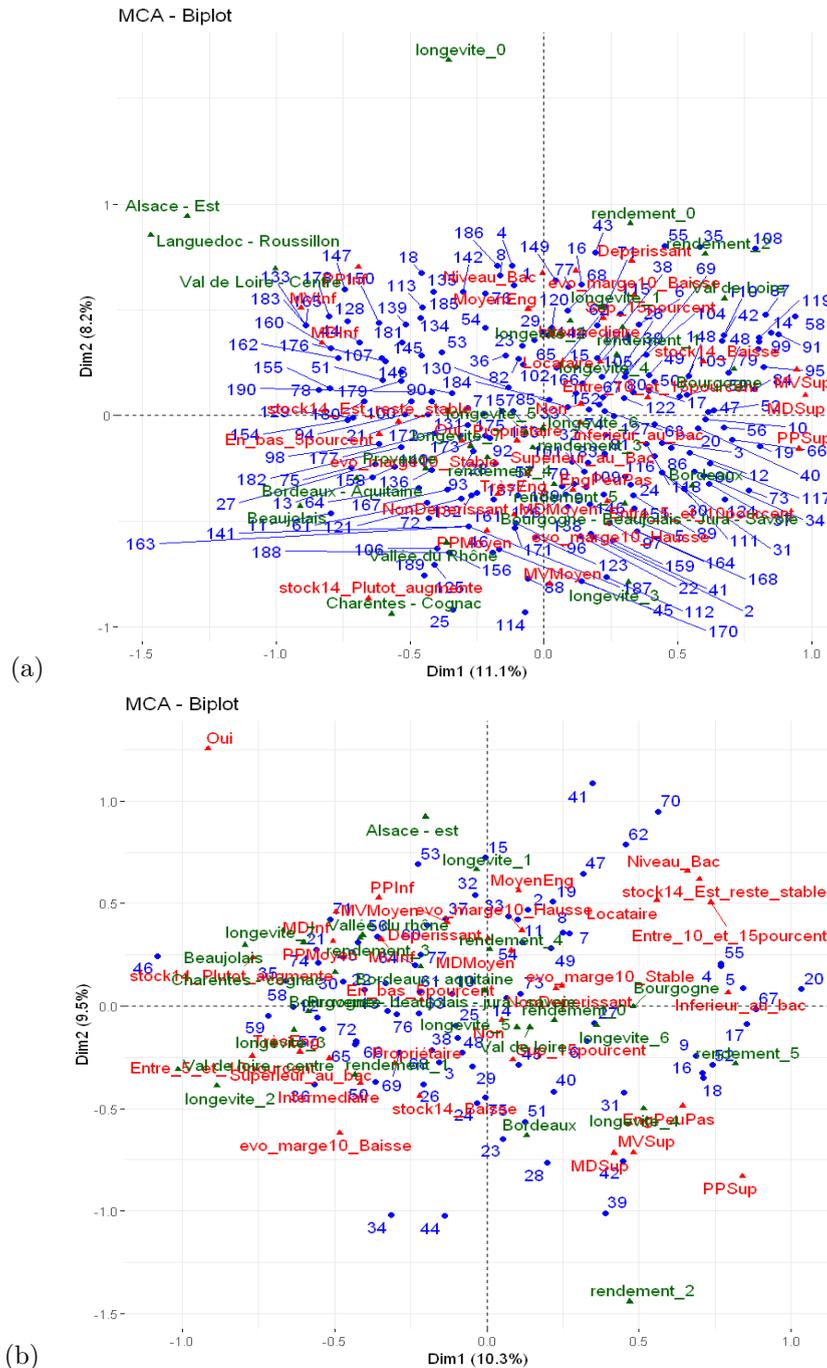


FIGURE 4.6 – Représentation graphique de l’ACM.

(a) Représentation des individus et des modalités des variables des données avec imputations et sans variables de pratique. (b) Représentation des individus et des modalités des variables des données sans imputations et sans variables de pratique.



hl/ha ). En effet, les points relatifs à la *longévité*<sub>7</sub> et au *rendement*<sub>5</sub> qui représentent l'atteinte de longévité (entre 40 et 6 ans) et du rendement objectif (supérieur à 60 hl/ha) sont plus proches de la variable non déperissante. On note que ces exploitations sont également caractérisées par un niveau de stock de vins depuis 2014 en hausse ou stable, par un niveau moyen de dépenses en main-d'œuvre (*MD Moyen*), en matériel végétal (*MV Moyen*) et en produits phytosanitaires (*PPS Moyen*), par un niveau d'engagement environnemental moyen ou élevé, par une évolution à la marge depuis 2010 stable ou en hausse, et par un niveau d'endettement inférieur à 5 % ou compris entre 5 et 10 %. On note également que ces individus sont propriétaires de leurs exploitations et appartiennent à une cave coopérative (appartenance caractérisée par 'oui'). Ces exploitations sont le plus souvent localisées dans les bassins viticoles de la Vallée du Rhône, du Beaujolais, de Bordeaux-Aquitaine, de Bourgogne et de Provence.

En revanche, les exploitations opposées, toujours selon le deuxième axe, sont les exploitations déperissantes ou intermédiaires (en haut de l'axe). Dans un premier temps, lorsque nous observons le nuage de points du deuxième axe, dans le quadrant situé en haut à droite, nous notons que ces exploitations sont caractérisées par la non atteinte de leur objectif de rendement niveau 0 (< à 40 hl/ha), niveau 1 (entre 41 et 60 hl/ha) et niveau 2 (> 60 hl/ha), une évolution à la marge baisse, un taux d'endettement du dernier exercice comptable supérieur 15 %, un niveau de stock de vin depuis 2014 bas, un niveau de dépense plutôt élevé en main-d'œuvre (*MD Sup*) et en matériel végétal (*MV Sup*). Ces exploitations sont plutôt en fermage et n'appartiennent pas à une cave coopérative (caractérisée par « oui »). Elles sont localisées dans les bassins du Val de Loire-Centre et de Bourgogne. Aussi l'éloignement de l'origine du point de la variable « déperissante » nous indique que peu de répondants de l'enquête dans l'ACM ont une exploitation déperissante. On note plus d'exploitations en situation intermédiaire que de déperissement. Dans un second temps, le nuage de points du deuxième axe, dans le quadrant situé en haut à gauche, révèle d'autres caractéristiques de ces exploitations telles qu'un niveau d'engagement environnemental moyen, un niveau de dépense inférieur en main-d'œuvre, en matériel végétal et en produits phytosanitaires.

En ce qui concerne les données sans imputation, le premier axe résume plus de 10 % de la liaison entre les variables et oppose plus ou moins les individus ayant une exploitation déperissante ou intermédiaire aux individus ayant une exploitation plutôt non déperissante.

Le deuxième axe résume 9,5 % de la liaison entre les variables et oppose les exploitations déperissantes et non déperissantes des exploitations intermédiaires. Cependant, il est à noter que les individus ayant une exploitation non déperissante ne peuvent pas véritablement bien être représentés sur ce graphique (b) de l'ACM, car le point qui représente la variable non déperissante est très proche de l'origine. Il est donc difficile d'opposer les caractéristiques des exploitations non déperissantes par les modalités présentes sur le graphique aux exploitations déperissantes et intermédiaires.

#### 4.5.1.2 ACM avec les variables de pratiques

##### 4.5.1.2.1 Analyse de l'inertie des axes factoriels

Les deux premières dimensions d'analyse des données avec imputations expriment 17,7 % de l'inertie totale du jeu de données. Cependant, celles des données sans imputations expriment 18,8 % de l'inertie totale du jeu de données. Pour cet ACM avec inclusion des variables de pratiques culturelles, nous avons 24 composantes principales pour les données imputées et non imputées. Le nombre de modalités  $q = 38$  et le nombre de variables actives  $p = 14$ . Ces composantes, ainsi que les pourcentages des variances expliquées par les 10 premières composantes sont illustrées dans la figure 4.8.

##### 4.5.1.2.2 Interprétations des résultats

Dans les figures 4.9a (données avec imputation) et 4.9b (données sans imputation) ci-dessous, les lignes qui sont les individus sont représentés par des points bleus, les modalités des variables actives par des triangles rouges et les modalités de la variable illustrative en vert. La distance entre les individus donne une mesure de leur similitude (ou dissemblance). Les individus avec un profil similaire sont proches sur le graphique. Il en va de même pour les variables. Comme pour la première analyse, pour une meilleure lisibilité des résultats, nous avons reproduit la figure 4.10 sans les individus.

Les relations entre les catégories des variables sont représentées dans les figures 4.10a (données avec imputation) et 4.10b (données sans imputation) ci-dessous. Sur ces graphiques, les catégories avec un profil similaire sont regroupées, et les catégories corrélées négativement sont positionnées

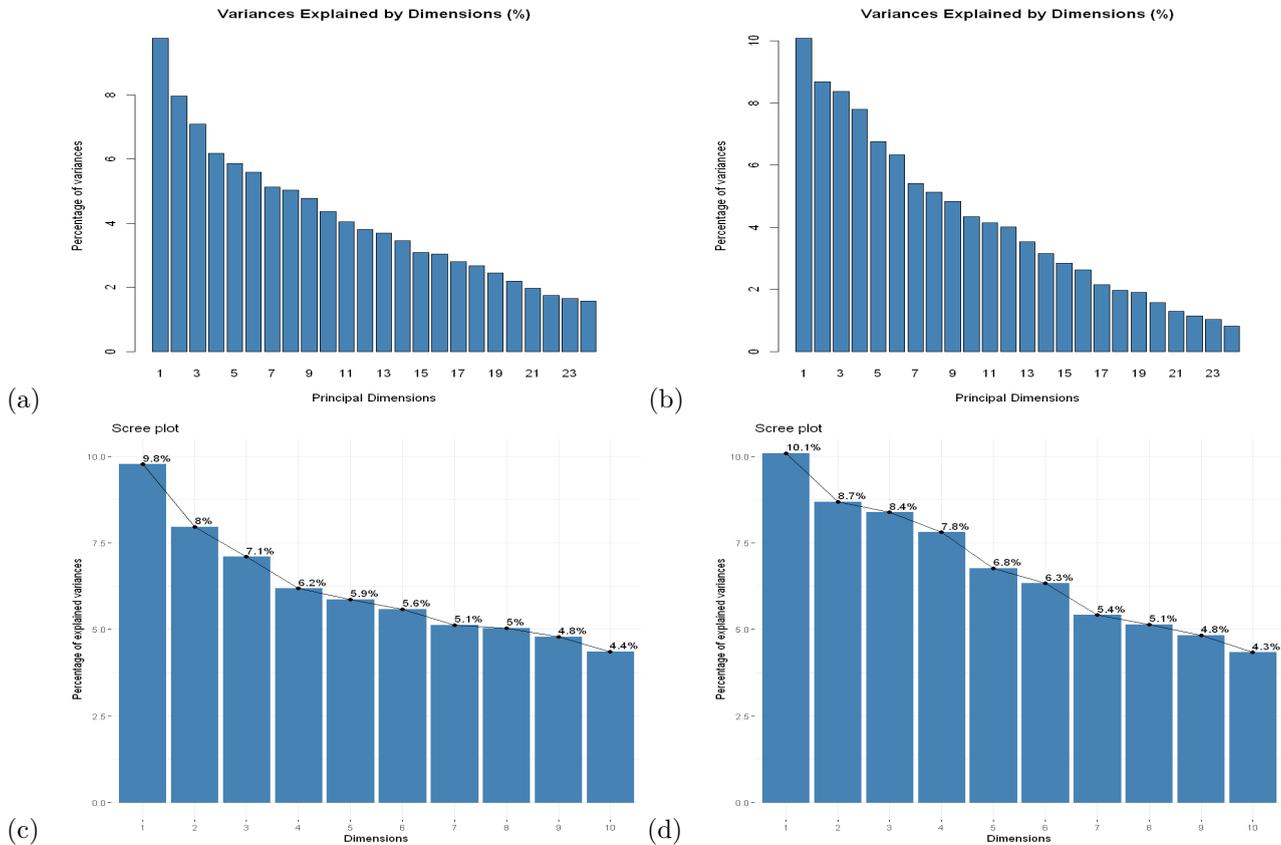


FIGURE 4.8 – Histogrammes des composantes principales et des pourcentages de variances expliqués

(a) Les composantes principales obtenues avec les données avec imputation et avec variables de pratiques. (b) Les composantes principales obtenues avec les données sans imputation et avec variables de pratique. (c) Les pourcentages de variances expliqués par les composantes principales obtenues avec les données avec imputation et avec variables de pratique. (d) Les pourcentages de variances expliqués par les composantes principales obtenues avec les données sans imputation et avec variables de pratiques.

sur les côtés opposés de l'origine du graphique (quadrants opposés). De plus, la distance entre les catégories et l'origine mesure la qualité des catégories. Les points qui sont loin de l'origine sont bien représentés par l'ACM.

Les modalités qui contribuent plus à la formation des axes factoriels sont celles dont l'inertie relative par rapport à l'axe dépasse  $1/q$ ,  $q$  étant donc le nombre de modalités. Nous avons au total 38 modalités en ce qui concerne l'analyse sans les variables de pratique. À cet effet, pour chaque axe, nous retenons les modalités dont l'inertie relative par rapport à l'axe dépasse 0,026, soit 2,6% (cf *Annexe 4*). Pour les données avec imputation (Figure 4.10a), le premier et le deuxième axe qui résument respectivement 9,8 % et 8 % de la liaison entre les variables

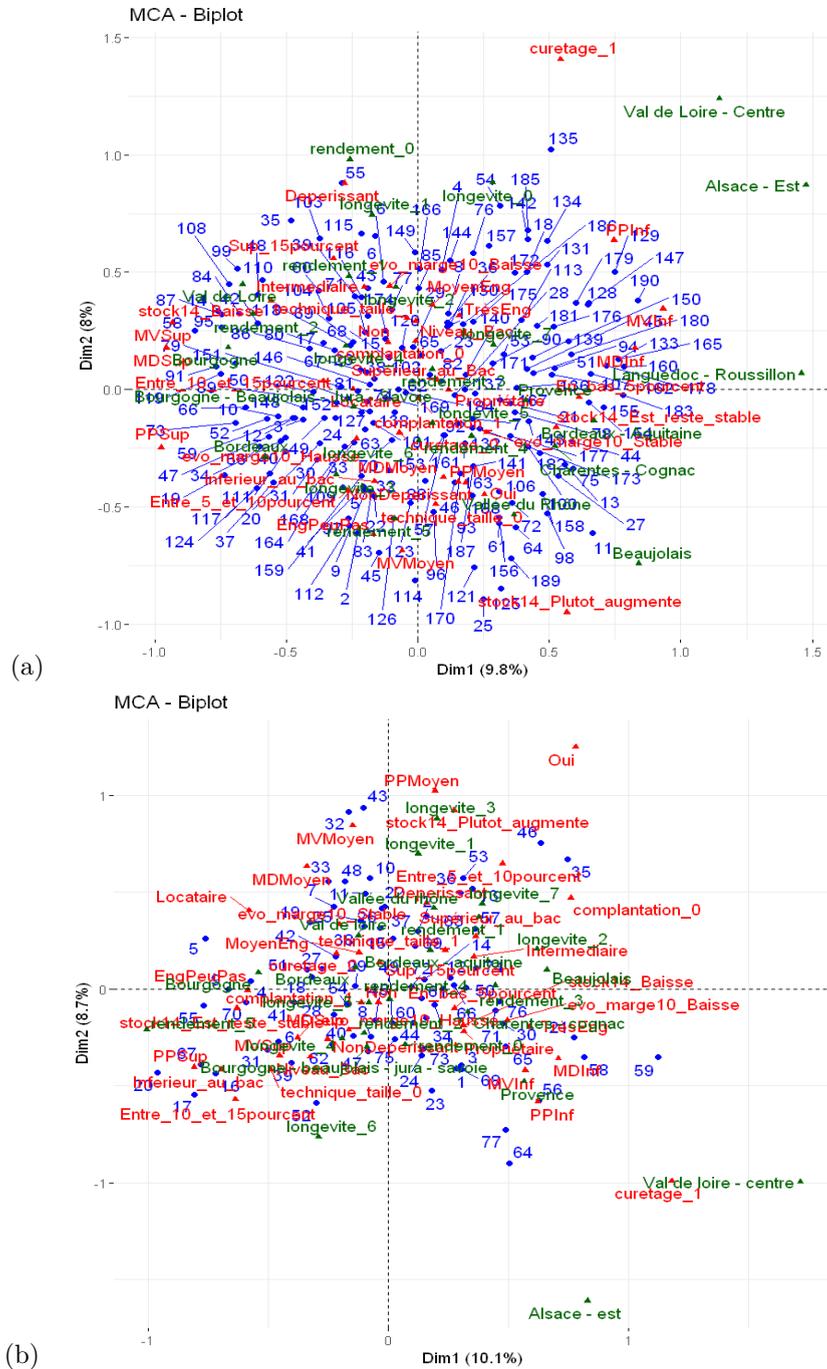


FIGURE 4.9 – Représentation graphique de l’ACM

(a) Représentation des individus et des modalités des variables des données avec imputation et variables de pratiques. (b) Représentation des individus et des modalités des variables des données sans imputation et avec variables de pratiques.

opposé, tout comme l’analyse sans les variables de pratique, les exploitations déperissantes et intermédiaires des exploitations non déperissantes. Lorsqu’on considère le premier axe, On note



depuis 2014, par un niveau de dépenses faible en main-d'œuvre, matériel végétal et produits phytosanitaires, par un taux d'endettement inférieur à 5 %, par une évolution de la marge stable depuis 2010 et par une adhésion en cave coopérative. Ces exploitations sont localisées, pour la plupart, dans les bassins d'Alsace-Est, Beaujolais, Bordeaux-Aquitaine, Languedoc-Roussillon et Val de Loire-Centre. En plus de cela, l'ACM montre que les exploitations non déperissantes ne mettent pas en place la technique de la taille, mais plutôt la pratique de la complantation. En opposition, les exploitations intermédiaires et déperissantes sont caractérisées par la non-atteinte de leur objectif de rendement et de longévité. Ces exploitations ont pour la plupart un niveau de stock de vins depuis 2014 bas, une évolution de la marge depuis 2010 basse, un taux d'endettement supérieur à 15 %, un niveau de dépense élevé en main-d'œuvre, matériel végétal et produit phytosanitaire. Les exploitations sont localisées dans les bassins de Bordeaux-Aquitaine, Bourgogne et Val de Loire-Centre. Concernant les pratiques mises en place par les exploitants, on note que pour les exploitations déperissantes ou intermédiaires la technique de la taille est la plus pratiquée. Lorsque nous considérons le second axe, nous avons les mêmes caractéristiques que pour l'analyse sans les pratiques pour les exploitations déperissantes, intermédiaires et non déperissantes. L'ACM montre que les exploitations déperissantes mettent plutôt en place les pratiques du curetage et la technique de la taille (le type de taille n'est pas précisé dans les réponses), mais pas la pratique de la complantation. Cependant, les exploitations non déperissantes ont plus tendance à mettre en place la complantation, mais pas le curetage ou la technique de la taille pour lutter spécifiquement contre le déperissement.

Les données sans imputation avec l'introduction des variables de pratiques (Figure 4.10b) mettent également en opposition, sur le premier et le deuxième axe qui résument 10,1% et 8,7 % de la liaison, les individus ayant une exploitation déperissante et intermédiaire d'une part, et les individus ayant une exploitation non déperissante d'autre part. L'ACM donne plus ou moins les mêmes caractéristiques pour les deux groupes en opposition que les analyses précédentes. Les résultats concernant les variables de pratiques soulignent également que les exploitations déperissantes ne mettent pas en place la complantation, mais plutôt la technique de la taille. Les exploitations non déperissantes, quant à elles, ne mettent pas en place la technique de la taille mais plutôt la complantation. On note également que peu d'exploitations dans l'échantillon mettent en place la pratique du curetage. Cela est illustré la figure 4.10b de l'ACM par la

grande distance entre le point « *curetage*<sub>1</sub> » de l'origine et la proximité du point « *curetage*<sub>0</sub> » de l'origine du graphique.

#### 4.5.1.3 Conclusions de l'ACM

L'ACM a été réalisée, d'une part sans introduction des variables relatives aux pratiques culturelles et d'autre part avec les variables relatives aux pratiques culturelles (préventives et curatives). Dans chacun des cas, nous utilisons deux bases de données (avec et sans imputation des valeurs manquantes). En général, nous obtenons les mêmes résultats pour les ACM effectuées sans les variables de pratiques et avec les variables de pratiques. Les résultats ont mis en exergue une plus grande robustesse pour des résultats obtenus avec une bonne gestion des données manquantes (méthode d'imputation). Les ACM ont permis d'identifier certains facteurs socio-économiques qui pourraient expliquer le statut dépérissant ou non des exploitations viticoles.

D'une part, les résultats ont montré que les exploitations qui n'auraient pas atteint leur objectif de rendement et de longévité, qui auraient une évolution à la baisse du taux de marge, une évolution à la hausse du taux d'endettement (supérieur à 15 % du chiffre d'affaires annuel), une évolution du stock de vin plutôt en baisse depuis 2010, un niveau de dépenses très élevé (> 77602; > 4400£; > 10866£) ou très faible (< 20944£; < 1500£; < 5733£) respectivement en main-d'œuvre, en matériel végétal et en produits phytosanitaires, qui seraient moyennement engagées en faveur de l'environnement (agriculture en transition ou raisonnées), qui n'adhèrent pas à une cave coopérative et qui pratiquent la technique de la taille de la vigne seraient plus associées au groupe d'exploitations dépérissantes ou intermédiaires.

D'autre part, les résultats ont montré que les exploitations qui auraient atteint leur objectif de rendement et de longévité, qui auraient un taux de marge plutôt élevé et un taux d'endettement faible (inférieur à 5 % du chiffre d'affaires annuel), qui auraient une évolution du stock de vin en hausse, qui auraient un niveau de dépenses moyen en main-d'œuvre, en matériel végétal et en produits phytosanitaires, qui seraient fortement engagées en faveur de l'environnement ou pas du tout engagées, qui auraient adhéré à une cave coopérative pour plus de la moitié de leur récolte en cave, et qui mettent en place la pratique de la complantation, sont plus associées au groupe d'exploitation non dépérissantes.

Les résultats obtenus à partir des données avec imputation nous ont permis de prendre en compte toutes les modalités de la variable relative au dépérissement dans la formation des deux premiers axes factoriels que nous avons étudiés. Les résultats de l'ACM avec les données sans imputation ne permettent cependant pas de faire un lien direct avec le regroupement des autres variables et donc de tirer des conclusions, contrairement aux résultats des données avec imputation. Nous pouvons donc conclure que l'imputation de la base de données a permis d'obtenir des résultats plus pertinents.

## 4.5.2 Modèle logit Ordonné

Dans cette section, nous présentons les résultats de l'analyse avec le modèle logit ordonné. Nous présentons d'abord les résultats de la régression sans les variables relatives aux pratiques culturelles et ensuite les résultats avec les variables de pratiques. Dans les deux cas de figure, nous faisons trois modélisations correspondant à différentes variables dépendantes : indicateur du dépérissement (*ClassDep*), niveau d'atteinte de l'objectif rendement (*Rendement*) et niveau d'atteinte de l'objectif longévité (*Longévité*).

### 4.5.2.1 Régression logistique ordonnée sans les variables de pratiques

#### 4.5.2.1.1 Modélisation du dépérissement

Dans cette section sont présentés les résultats de la régression avec l'indicateur de dépérissement généré par l'outil d'auto-évaluation comme variable à expliquer. La variable de dépérissement est renommée «*class Dep*» avec les modalités suivantes : "*Non – Deperissant*" = 0, "*Intermédiaire*" = 1, "*Dépérisant*" = 2. Pour le choix des variables explicatives, nous utilisons des tests de Wald afin d'analyser le niveau de significativité des variables explicatives du modèle (Tableaux 4.2). On note que les variables relatives à l'évolution de la marge depuis 2010, au niveau d'exigence environnementale et à l'adhésion à une cave coopérative sont celles qui permettent d'expliquer le dépérissement. Nous supprimons par la suite celles qui ne sont pas significatives.

Les résultats de la régression sont présentés dans le tableau 4.3. D'abord, concernant le facteur relatif à l'évolution à la marge, on montre que les exploitations dont la marge est en

TABLE 4.2 – Wald Chi-Squared Test pour la modélisation du dépérissement

Variables	Df	Chisq	Pr(>Chisq)
surface_exploi	1	0.85	0.36
diplome	2	1.06	0.59
evo_marge10	2	6.88	0.03 *
faire_valoir	1	0.08	0.78
niveau_env	2	9.50	0.01 **
recolte	1	8.11	0.00 **
stock14	2	2.85	0.24
taux_dette	3	5.24	0.15
depMainOeuvre	2	1.10	0.58
depMatVeg	2	0.87	0.65
depProPhyto	2	5.25	0.07 .

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

baisse depuis 2010 ont 2 fois plus de chances d'être dépérisantes que celles dont la marge est restée stable. En revanche, les exploitations dont la marge est en évolution depuis 2010 ont 2,2 fois plus de chances (1/0, 46) de ne pas être dépérisantes (non dépérisantes) que celles dont la marge est restée stable. Ensuite, concernant le facteur relatif au niveau d'engagement environnemental, les résultats montrent que, les exploitations qui ne sont pas engagées en faveur de l'environnement et celles qui sont plutôt très engagées ont respectivement 3 fois (1/0,35 et 1/0, 34) plus de chances de ne pas être dépérisantes que celles qui sont moyennement engagées en faveur de l'environnement. Aussi, concernant le facteur de la coopération agricole, on note que les exploitations qui apportent plus de la moitié de leur récolte en cave coopérative ont 3,7 fois (1/0, 27) plus de chances d'être non dépérisantes que celles qui n'apportent pas plus de la moitié de leur récolte en cave coopérative. Concernant le facteur relatif aux dépenses en produits phytosanitaires, on note que les exploitations ayant un niveau de dépenses en produits phytosanitaires faible ont 2,3 fois plus de chances (1/0,43) de ne pas être dépérisantes que celles ayant un niveau de dépenses moyen en produits phytosanitaires.

La précision du modèle avec les données avec imputation est égal à 65 % pour les données d'ajustement et 57 % pour les données de test. L'analyse des données test indique la précision potentielle du modèle dans le cas de l'utilisation d'une base de données ayant des observations différentes. Nous avons donc réalisé la même régression sur les données sans imputation. Les

TABLE 4.3 – Modélisation du dépérissement : Données avec imputations et sans variables de pratiques

	Coefficients	Estimate	Odd.Ratio	Std.Error	z.value	Pr(> z )
	0 1	-0.93	0.40	0.41	-2.27	0.02
	1 2	0.69	1.99	0.41	1.66	0.10
	evo_marge10Baisse	0.70	2.01	0.40	1.76	0.08 .
	evo_marge10Hausse	-0.78	0.46	0.46	-1.69	0.09 .
	niveau_envEngPeuPas	-1.06	0.35	0.41	-2.56	0.01 *
	niveau_envTrèsEng	-1.08	0.34	0.44	-2.45	0.01 *
	recolteOui	-1.30	0.27	0.44	-2.95	0.00 **
	depProPhytoPPInf	-0.85	0.43	0.43	-1.96	0.05 .
	depProPhytoPPSup	-0.58	0.56	0.41	-1.43	0.15

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

résultats sont consignés dans le tableau A.11. D'abord, l'importance de l'évolution à la marge se confirme. On note que les exploitations dont la marge a évolué depuis 2010 ont 7 (1/0,14) fois plus de chances d'être non dépérisantes que celles dont la marge est stable. Concernant l'engagement environnemental, on note que celles qui sont très engagées en faveur de l'environnement ont 4 (1/0,26) fois plus de chances d'être non dépérisantes que celles qui sont moyennement engagées en faveur de l'environnement. Les résultats révèlent un autre facteur socio-économique important pour l'explication du statut dépérisant : le facteur relatif du taux d'endettement. On note que les exploitations présentant un taux d'endettement entre 10 et 15 %, ont 20 (1/0,05) fois plus de chances d'être non dépérisantes par rapport à celles présentant un taux d'endettement supérieur à 15 %.

#### 4.5.2.1.2 Modélisation de la dimension rendement

Dans cette section, nous présentons les résultats de la modélisation avec la variable relative à la dimension rendement. Nous utilisons le test de wald pour identifier les variables explicatives les plus significatives. Selon le tableau 4.5, les variables relatives à l'évolution de la marge depuis 2010, à l'adhésion à une cave coopérative, à l'évolution du stock de vins depuis 2014, ainsi que le taux d'endettement, sont celles qui permettent d'expliquer l'atteinte de l'objectif de rendement.

Les résultats de la régression sont consignés dans le tableau 4.5. On note que les exploitations qui apportent plus de la moitié de leur récolte en cave coopérative ont 3 fois plus de chances

TABLE 4.4 – Wald Chi-Squared Test pour la modélisation du rendement

Variables	Df	Chisq	Pr(>Chisq)
surface_exploi	1	0.00	0.98
diplome	2	3.55	0.17
evo_marge10	2	14.86	0.00 ***
faire_valoir	1	2.86	0.09 .
niveau_env	2	0.27	0.88
recolte	1	9.49	0.00 **
stock14	2	8.79	0.01 **
taux_dette	3	7.16	0.07 .
depMainOeuvre	2	1.29	0.52
depMatVeg	2	1.99	0.37
depProPhyto	2	0.60	0.74

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

d'atteindre leur objectif de rendement par rapport à celles qui n'apportent pas plus de la moitié de leur récolte en cave coopérative. Concernant le niveau du stock de vin, on note que les exploitations dont le niveau de stock de vin a augmenté depuis 2014 ont 4 (1/4,26) fois plus de chances d'atteindre leur objectif de rendement comparé à celles dont le niveau de stock de vins a baissé depuis 2014. Concernant l'évolution de la marge, on note qu'au seuil de 10 %, les exploitations dont la marge a évolué depuis 2010 ont plus de chances d'atteindre leur objectif de rendement que celles dont la marge est restée stable. Celles présentant un taux d'endettement entre 10 et 15 %, ont plus de chances (1/2,51) d'atteindre leur objectif de rendement, comparé à celles ayant un taux d'endettement inférieur à 5 %. Concernant le facteur relatif au mode d'exploitation, on note que les exploitations en fermage, ont 2 (1/0.55) fois plus de chances de ne pas atteindre leur objectif de rendement, comparé à celles dont les répondants sont propriétaires.

La précision du modèle avec les données avec imputation est égal à 48 % pour les données d'ajustement et 54 % pour les données de test. Nous utilisons par la suite les données sans imputation pour l'estimation du modèle. Les résultats sont présentés dans le tableau A.12. D'abord, on note que les exploitations présentant un taux d'endettement entre 10 et 15 % ont plus de chances d'atteindre leur objectif de rendement par rapport à celles ayant un taux d'endettement supérieur à 15 %. Ensuite, les exploitations dont la marge a évolué depuis 2010 ont, au seuil de 10 %, plus de chances d'atteindre leur objectif de rendement que celles dont la marge est restée stable. Les exploitations dont le niveau de stock de vins a augmenté depuis

TABLE 4.5 – Modélisation du rendement avec les données avec imputation et sans les variables de pratiques

	Coefficients	Estimate	Odd.Ratio	Std..Error	z.value	Pr(> z )
	0 1	-2.01	0.13	0.53	-3.81	0.00
	1 2	-0.14	0.87	0.46	-0.29	0.77
	2 3	-0.01	0.99	0.46	-0.02	0.98
	3 4	0.73	2.07	0.46	1.59	0.11
	4 5	3.29	26.74	0.54	6.13	0.00
	diplomeinferieur_au_bac	0.55	1.73	0.40	1.37	0.17
	diplomeNiveau_Bac	0.80	2.23	0.41	1.96	0.05 .
	evo_marge10Baisse	-0.76	0.47	0.40	-1.87	0.06 .
	evo_marge10Hausse	0.88	2.41	0.40	2.20	0.03 *
	faire_valoirLocataire	-0.60	0.55	0.36	-1.67	0.09 .
	recolteOui	1.11	3.03	0.35	3.14	0.00 **
	stock14Est_reste_stable	0.73	2.07	0.37	1.95	0.05 .
	stock14Plutot_augmente	1.45	4.26	0.50	2.88	0.00 **
	taux_detteEntre_10_et_15pourcent	0.92	2.51	0.48	1.91	0.06 .
	taux_detteEntre_5_et_10pourcent	0.41	1.51	0.41	1.01	0.31
	taux_detteSup_15pourcent	-0.33	0.72	0.43	-0.78	0.44

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

2014, ont plus de chances d'atteindre leur objectif de rendement, comparé à celles dont le niveau de stock de vins a baissé depuis 2014.

#### 4.5.2.1.3 Modélisation de la dimension longévité

Nous présentons ici les résultats de la modélisation par la variable relative à la dimension longévité. Les variables qui ne rentrent pas dans le calcul de cette dimension sont utilisées comme variables explicatives. Les résultats du test de Wald montrent que les facteurs relatifs à la formation (éducation), au mode de faire-valoir principal et aux dépenses en produits phytosanitaires sont ceux qui permettent d'expliquer l'atteinte de l'objectif de longévité des répondants (Tableau 4.6).

Les résultats sont présentés dans le tableau 4.7. D'abord, les résultats montrent que les exploitants ayant un diplôme inférieur ou égal au Baccalauréat sont respectivement 2,2 fois (1/0,45) et (1/0,46) plus susceptibles de ne pas atteindre leur objectif de longévité par rapport à ceux ayant un diplôme supérieur. Ensuite, les exploitations en fermage ont 2 fois plus de chances d'atteindre leur objectif de longévité que celles dont les exploitants sont propriétaires.

TABLE 4.6 – Wald Chi-Squared Test pour la modélisation de la longévité

Variables	Df	Chisq	Pr(>Chisq)
surface_exploi	1	0.01	0.93
diplome	2	6.28	0.04 *
evo_marge10	2	3.79	0.15
faire_valoir	1	5.54	0.02 *
niveau_env	2	1.18	0.56
recolte	1	0.31	0.57
stock14	2	1.70	0.43
taux_dette	3	2.38	0.50
depMainOeuvre	2	0.34	0.84
depMatVeg	2	3.69	0.16
depProPhyto	2	10.23	0.01 **

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Concernant le facteur du niveau de dépenses, on note que les exploitations qui dépensent peu en produits phytosanitaires ont 2,5 fois plus de chances d'atteindre leur objectif de longévité que celles qui ont des dépenses moyennement en produits phytosanitaires. La précision du modèle est égal à 45 % pour les données d'ajustement et 41 % pour les données de test . Le modèle est donc sous ajuster par rapport aux données.

Les résultats de la modélisation avec les données sans imputation sont représentés dans le tableau A.13. D'abord, on note que les exploitations présentant un taux d'endettement inférieur à 5 % et un taux d'endettement comprise entre 10 et 15 %, ont respectivement 4 fois et 8 fois plus de chances d'atteindre leur objectif de longévité par rapport à celle ayant un taux d'endettement supérieur à 15 %. Ensuite, les exploitations très engagées en faveur de l'environnement ont 4 fois plus de chances d'atteindre leur objectif de longévité par rapport à celles qui sont moyennement engagés en faveur de l'environnement. Enfin, les exploitations qui ont des dépenses moyennes en produits phytosanitaires ont 5 (1/0, 2) fois plus de chances de ne pas atteindre leur objectif de longévité que celles qui dépensent peu en produits phytosanitaires (Tableau A.13).

TABLE 4.7 – Modélisation de la longévité avec les données avec imputation et sans les variables de pratiques

	Coefficients	Estimate	Odd.Ratio	Std..Error	z.value	Pr(> z )
	0 1	-4.84	0.01	1.03	-4.72	0.00
	1 2	-2.09	0.12	0.35	-5.89	0.00
	2 3	-1.80	0.16	0.33	-5.41	0.00
	3 4	-1.36	0.26	0.31	-4.35	0.00
	4 5	-0.75	0.47	0.30	-2.53	0.01
	5 6	1.30	3.68	0.31	4.20	0.00
	6 7	2.58	13.23	0.37	6.93	0.00
	diplomeinferieur_au_bac	-0.80	0.45	0.37	-2.15	0.03 *
	diplomeNiveau_Bac	-0.78	0.46	0.39	-1.99	0.05 *
	faire_valoirLocataire	0.72	2.06	0.35	2.08	0.04 *
	depProPhytoPPInf	0.97	2.64	0.38	2.54	0.01 *
	depProPhytoPPSup	0.63	1.88	0.37	1.71	0.09 .

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#### 4.5.2.2 Régression logistique ordonnée avec les variables de pratiques

##### 4.5.2.2.1 Modélisation du dépérissement

La réalisation du test de Wald a permis d'analyser la significativité des variables explicatives. Les résultats du test sont présentés dans le tableau 4.8. On note que les variables relatives à l'évolution de la marge, au niveau d'exigence environnementale, à l'adhésion à une cave coopérative, aux dépenses en produits phytosanitaires et la mise en place d'une pratique de technique de taille de la vigne sont celles qui permettent d'expliquer significativement le dépérissement.

Les résultats de la régression sont présentés dans le tableau 4.9. D'abord, on note qu'au seuil de 10 %, les exploitations dont la marge a évolué depuis 2010 ont 2,3 fois plus susceptibles (1/0,44), d'être non dépérisantes que celles qui observent une baisse de leur marge. Ensuite, les exploitations qui apportent plus de la moitié de leur récolte en cave coopérative, ont 3,7 fois plus de chances (1/0,27), d'être non dépérisantes que celles qui ne le font pas. Concernant l'exigence environnementale, on note également que les exploitations qui ne sont pas engagées et celles très engagées en faveur de l'environnement ont 2,7 fois plus de chances (1/0,37) d'être non dépérisantes que celles qui se sont engagées moyennement en faveur de l'environnement. Les exploitations qui ont un niveau de dépenses faibles en produits phytosanitaires ont 2 fois plus de

TABLE 4.8 – Wald Chi-Squared Test pour l'estimation des classes du dépérissement avec les variables de pratiques

Variables	Df	Chisq	Pr(>Chisq)
surface_exploi	1	0.50	0.48
diplome	2	2.35	0.31
evo_marge10	2	7.10	0.03 **
faire_valoir	1	0.00	0.98
niveau_env	2	9.11	0.01 *
recolte	1	8.92	0.00 **
stock14	2	2.19	0.34
taux_dette	3	3.35	0.34
depMainOeuvre	2	1.54	0.46
depMatVeg	2	0.67	0.72
depProPhyto	2	6.32	0.04 *
complantation	1	0.17	0.68
curetage	1	1.51	0.22
technique_taille	1	3.69	0.06 .

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

chances (1/0.54) d'être non dépérisantes que celles qui ont un niveau de dépenses moyen. Enfin, cette analyse nous permet de faire ressortir un autre facteur important pour l'exploitation, qui est la pratique culturale adoptée. On note que les exploitations qui ne mettent pas en place la technique de taille de la vigne ont 2,5 fois plus de chances (1/0.4) d'être non dépérisantes, que celles qui mettent en place une technique de taille de la vigne. La précision du modèle avec les données imputées est égal à 67 % pour les données d'ajustement et 62 % pour les données de test.

Les résultats de l'analyse avec les données sans imputation sont présentés dans le tableau A.14. D'abord, on note que les exploitations présentant un taux d'endettement entre 10 et 15 %, ont 36 fois plus de chances (1/0,03) d'être non dépérisantes que celles ayant un taux d'endettement supérieur à 15 %. Concernant l'évolution à la marge, on note que les exploitations dont la marge est en hausse depuis 2010, ont 6 fois plus de chances (1/0,17), d'être non dépérisantes que celles dont la marge est stable. Ensuite, on note qu'au seuil de 10 %, les exploitations qui ne sont pas engagées et celles qui sont très engagées en faveur de l'environnement ont 4 fois (1/0,25) plus de chances d'être dépérisantes par rapport à celles qui sont moyennement engagées en faveur de l'environnement. Les exploitations ayant un niveau de dépenses moyen en main-d'œuvre,

TABLE 4.9 – Modélisation du dépérissement avec les données avec imputation et avec les variables de pratiques

Coefficients	Estimate	Odd.Ratio	Std..Error	z.value	Pr(> z )
0 1	-1.24	0.29	0.43	-2.87	0.00
1 2	0.41	1.51	0.43	0.97	0.33
evo_marge10Baisse	0.58	1.79	0.41	1.44	0.15
evo_marge10Hausse	-0.82	0.44	0.46	-1.76	0.08 .
niveau_envEngPeuPas	-0.99	0.37	0.42	-2.37	0.02 *
niveau_envTrèsEng	-1.01	0.36	0.45	-2.26	0.02 *
recolteOui	-1.30	0.27	0.45	-2.86	0.00 **
depProPhytoPPInf	-0.91	0.40	0.44	-2.09	0.04 *
depProPhytoPPSup	-0.62	0.54	0.41	-1.50	0.13
technique_taille0	-0.91	0.40	0.40	-2.28	0.02 *

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ont 4,6 fois plus de chances de n'être dépérisantes que celles dont le niveau de dépenses en main-d'œuvre est faible.

#### 4.5.2.2.2 Modélisation de la dimension rendement

La réalisation du test de Wald nous a permis d'analyser la significativité des variables explicatives. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.10, nous révélons que les variables relatives à l'évolution de la marge des répondants depuis 2010, au niveau d'exigence environnementale, à l'adhésion à une cave coopérative et le niveau de stock de vins depuis 2014, sont celles qui permettent d'expliquer significativement l'atteinte des objectifs de rendements.

Les résultats de la régression sont présentés dans le tableau 4.11. D'abord, on note que les exploitations dont le taux de marge est en baisse depuis 2010 ont 2,3 fois plus de chances (1/0,44) de ne pas atteindre leur objectif de rendement par rapport à celles dont le taux de marge est resté stable. Les exploitations qui apportent plus de la moitié de leur récolte en cave coopérative, ont 3 fois plus de chances d'atteindre leur objectif de rendement que celles qui n'apportent pas plus de la moitié de leur récolte en cave coopérative. Les exploitations dont le niveau de stock de vin a augmenté depuis 2014, ont 4 fois plus de chances d'atteindre leur objectif de rendement, comparé à celles dont le niveau de stock de vins a baissé depuis 2014. La précision du modèle avec les données imputées est égal à 49 % pour les données d'apprentissage et 51 % pour les données de test.

TABLE 4.10 – Wald Chi-Squared Test pour l'estimation du rendement avec les variables de pratiques

Variables	Df	Chisq	Pr(>Chisq)
surface_exploi	1	0.02	0.89
diplome	2	3.48	0.18
evo_marge10	2	15.37	0.00 ***
faire_valoir	1	1.77	0.18
niveau_env	2	0.42	0.81
recolte	1	9.12	0.00 **
stock14	2	7.12	0.03 *
taux_dette	3	5.77	0.12
depMainOeuvre	2	1.68	0.43
depMatVeg	2	2.33	0.31
depProPhyto	2	0.65	0.72
complantation	1	0.34	0.56
curetage	1	0.11	0.74
technique_taille	1	1.08	0.30

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

TABLE 4.11 – Modélisation du rendement avec les données avec imputation et avec les variables de pratiques

	Estimate	Odd.Ratio	Std..Error	z.value	Pr(> z )
0 1	-2.00	0.14	0.53	-3.77	0.00
1 2	-0.15	0.86	0.46	-0.33	0.74
2 3	-0.03	0.97	0.46	-0.06	0.95
3 4	0.69	2.00	0.46	1.52	0.13
4 5	3.22	25.09	0.53	6.06	0.00
diplomeinferieur_au_bac	0.45	1.56	0.39	1.14	0.25
diplomeNiveau_Bac	0.67	1.96	0.40	1.67	0.10 .
evo_marge10Baisse	-0.82	0.44	0.40	-2.04	0.04 *
evo_marge10Hausse	0.78	2.19	0.40	1.98	0.05 *
recolteOui	1.06	2.89	0.35	3.02	0.00 **
stock14Est_reste_stable	0.67	1.96	0.37	1.81	0.07 .
stock14Plutot_augmente	1.37	3.94	0.50	2.74	0.01 **
taux_detteEntre_10_et_15pourcent	0.85	2.35	0.48	1.77	0.08 .
taux_detteEntre_5_et_10pourcent	0.36	1.43	0.41	0.88	0.38
taux_detteSup_15pourcent	-0.43	0.65	0.42	-1.00	0.32

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Les résultats obtenus avec les données sans imputation et avec variables de pratiques sont présentés dans le tableau A.15. D’abord, on note que les exploitations qui ont un taux d’endettement entre 10 % et 15 %, ont 6 fois plus de chances d’atteindre leur objectif de rendement par rapport à celles ayant un taux d’endettement supérieur à 15 %. Celles dont la marge a évolué depuis 2010 ont 2 fois plus de chances d’atteindre leur objectif de rendement que celles dont la marge est restée stable.

#### 4.5.2.2.3 Modélisation de la dimension longévité

Pour la régression sur la dimension de longévité, on montre par le test de Wald, que les variables relatives à la formation des exploitants, au mode de faire-valoir principal de l’exploitation et aux dépenses en produits phytosanitaires, sont celles qui permettent d’expliquer significativement l’atteinte de l’objectif de longévité de l’exploitation (Tableau 4.12).

TABLE 4.12 – Wald Chi-Squared Test pour l’estimation de la longévité avec les variables de pratiques

	Df	Chisq	Pr(>Chisq)
surface_exploi	1	0.01	0.92
diplome	2	7.26	0.03 *
evo_marge10	2	4.11	0.13
faire_valoir	1	6.13	0.01 *
niveau_env	2	0.73	0.69
recolte	1	0.20	0.65
stock14	2	1.30	0.52
taux_dette	3	2.23	0.53
depMainOeuvre	2	0.36	0.83
depMatVeg	2	3.11	0.21
depProPhyto	2	10.70	0.00 **
complantation	1	0.41	0.52
curetage	1	0.00	0.95
technique_taille	1	0.78	0.38

Signif. codes : 0 ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘.’ 1

Les résultats de la régression sont présentés dans le tableau 4.13. D’abord, on note que les exploitations qui sont en fermage ont 2 fois plus de chances d’atteindre leur objectif de longévité que celles dont les exploitants sont propriétaires. Ensuite, les exploitations qui ont un niveau de dépenses faibles en produits phytosanitaires ont 3 fois plus de chances d’atteindre leur objectif

de longévité, que celle dont le niveau de dépenses est moyen. Concernant le niveau de formation, on note que les exploitants qui ont un diplôme inférieur ou égal au Baccalauréat ont 2,2 (1/0,45) fois plus de chances de ne pas atteindre leur objectif de longévité que ceux qui ont un diplôme supérieur. La précision du modèle est égal à 45 % pour les données d'ajustement et 41 % pour les données de test (données avec imputation).

TABLE 4.13 – Modélisation de la longévité avec les données avec imputation et avec les variables de pratiques

	Estimate	Odd.Ratio	Std..Error	z.value	Pr(> z )
0 1	-4.84	0.01	1.03	-4.72	0.00
1 2	-2.09	0.12	0.35	-5.89	0.00
2 3	-1.80	0.16	0.33	-5.41	0.00
3 4	-1.36	0.26	0.31	-4.35	0.00
4 5	-0.75	0.47	0.30	-2.53	0.01
5 6	1.30	3.68	0.31	4.20	0.00
6 7	2.58	13.23	0.37	6.93	0.00
diplomeinferieur_au_bac	-0.80	0.45	0.37	-2.15	0.03 *
diplomeNiveau_Bac	-0.78	0.46	0.39	-1.99	0.05 *
faire_valoirLocataire	0.72	2.06	0.35	2.08	0.04 *
depProPhytoPPInf	0.97	2.64	0.38	2.54	0.01 *
depProPhytoPPSup	0.63	1.88	0.37	1.71	0.09 .

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Les résultats de la modélisation de la dimension longévité avec les données sans imputation sont représentés dans le tableau A.16. Les résultats obtenus sont les mêmes que l'analyse sans les variables relatives aux pratiques culturales. On note un effet de la complantation, mais il n'est pas significatif (Tableau A.16).

#### 4.5.2.3 Conclusion de la régression logistique

Le modèle logit ordonné nous a permis d'identifier les facteurs les plus importants pour le diagnostic du statut dépérissant d'une exploitation (Dimension rendement et longévité). Comme

avec l'ACM, nous avons effectué deux analyses (avec et sans les variables de pratiques culturelles). La régression a été effectuée en utilisant les données imputées et non imputées. La comparaison générale des résultats a montré que ceux obtenus avec les données imputées sont plus pertinents.

Nous avons utilisé trois variables dépendantes pour l'analyse : l'indicateur du dépérissement (ClassDep), la dimension rendement (*Rendement*) et la dimension longévité (*Longévité*). L'analyse nous a permis d'identifier, pour chacune des dimensions du dépérissement, les facteurs les plus discriminants.

D'abord, concernant le statut du dépérissement, la régression logistique a généralement fait ressortir les mêmes facteurs socio-économiques que l'ACM. La plus-value de l'utilisation de cette méthode a été le calcul des probabilités pour chaque modalité des variables. Cette méthode a permis d'identifier les facteurs les plus significatifs dans le diagnostic du statut dépérissant ou non de l'exploitation. Les facteurs retenus comme les plus discriminants sont l' **évolution de la marge**, le **niveau d'exigence environnementale**, l' **adhésion en cave coopérative**, les **dépenses en produits phytosanitaires** et la mise en place d'une pratique de technique de **taille de la vigne**.

Ensuite, la régression avec la dimension rendement nous a permis d'identifier, particulièrement les facteurs les plus discriminants à l'atteinte de l'objectif du rendement. On a identifié cinq facteurs significatifs : L'évolution de la marge , le taux d'endettement, l'évolution du stock de vins, le niveau d'exigence environnementale, l'adhésion en cave coopérative. Premièrement, concernant le facteur relatif au taux de marge, on note que les exploitations qui ont un taux de marge en hausse ou stable auraient plus de chances d'atteindre leur objectif de rendement par rapport à celles qui ont un taux de marge en baisse. Deuxièmement, on note pour le taux d'endettement, que les exploitations qui ont un taux d'endettement en baisse ou stable auraient plus de chances d'atteindre leur objectif de rendement par rapport à celles qui ont un taux d'endettement en hausse. Troisièmement, on note que les exploitations qui ont un stock de vin élevé auraient plus de chances d'atteindre leur objectif de rendement que celles qui ont un stock de vin bas. Quatrièmement, pour le niveau d'exigence environnementale, on note que les exploitations qui ne sont pas engagées (agriculture conventionnelle) et celles qui sont fortement engagées (agriculture biologique) seraient plus susceptibles d'atteindre leur objectif de rendement par rapport à celles qui sont moyennement engagées environnementales (agriculture raisonnée

ou en transition). Cinquièmement, on note que les exploitations qui ont adhéré à une cave coopérative auraient également plus de chances d'atteindre leurs objectifs de rendement que celles qui n'ont pas adhéré.

Enfin, les facteurs les plus discriminants pour la dimension de la longévité identifiée sont au nombre de trois : la formation des exploitants, le mode de faire-valoir principal de l'exploitation et les dépenses en produits phytosanitaires. Premièrement, la formation des exploitants est identifiée comme un facteur important pour l'atteinte de l'objectif de longévité de l'exploitation. On note que les exploitants ayant un niveau d'études supérieures au bac auraient plus de chances d'atteindre leur objectif de longévité que ceux qui auraient un niveau inférieur au bac. Deuxièmement, les résultats montrent également que les exploitations qui ont des dépenses en produits phytosanitaires moyennes auraient moins de chances d'atteindre leur objectif de longévité comparativement à celles qui ont des dépenses basses ou élevées. Troisièmement, le mode de faire-valoir est identifié comme un facteur important pour l'atteinte de l'objectif de longévité de l'exploitation. On note que les exploitations avec un mode de faire-valoir en fermage auraient plus de chances d'atteindre leur objectif de longévité comparativement à celles dont les exploitants sont les propriétaires.

Cependant, nous notons une limite pour la robustesse des résultats obtenus. En effet, la prise en compte dans le modèle d'une part de l'hypothèse de l'égalité des pentes (proportional odd ratio) qui stipule que l'effet d'une variable est le même quel que soit le niveau de la variable à expliquer, et d'autre part l'hétéroscédasticité des erreurs, ont donné des résultats avec une faible significativité. Les précisions du modèle avec les données d'ajustement ou des données test apparaissent faibles. Un modèle plus performant générerait plutôt une précision plus élevée d'au moins 80 % pour les données de test bien que le jugement d'un modèle sur sa performance varie d'une étude à une autre.

### **4.5.3 Modèle d'arbre de décision : Arbre de classification**

Nous présentons dans cette section les résultats obtenus avec les méthodes d'arbre de décision. D'abord, les résultats avec la méthode CART et ensuite ceux avec le Random Forest. À chaque fois, nous présentons les résultats des trois variables à expliquer : la classe dépérissement, la

classe rendement et la classe longévité. L'analyse ici est réalisée uniquement sur la base de données avec imputation des valeurs manquantes et sans les variables de pratiques culturales car les deux analyses précédentes nous ont révélé que cette base permet de mieux expliquer le statut des exploitations.

#### 4.5.3.1 Méthode CART

Nous avons partitionné la base de données en deux échantillons : un échantillon test et un échantillon d'apprentissage. L'arbre de décision a été réalisé sur l'échantillon d'apprentissage composé de 142 exploitations. L'échantillon test, lui, est composé de 48 exploitations.

##### 4.5.3.1.1 Analyse la classe de dépérissement

Les résultats de la méthode CART, avec la classe dépérissement comme variable à expliquer, sont représentés par l'arbre de décision de la figure 4.14. Cette variable est composée de trois modalités, à savoir le statut dépérissant, le statut intermédiaire et le statut non dépérissant. D'abord, les résultats ont montré que les exploitations qui ont un niveau de stock élevé et un niveau de dépenses en produit phytosanitaire supérieur à 9 407 € ont un statut non dépérissant. Cette feuille de l'arbre de décision représente 19 % de l'échantillon d'apprentissage dans lequel nous avons 95 % de pureté. Cela signifie que dans cette feuille, 5 % sont des contre-exemples. Ensuite, on note que les exploitations qui ont en plus d'un stock élevé, un niveau de dépenses en produit phytosanitaire inférieur à 9 407 € et de dépense en main-d'œuvre supérieure ou égal 57 124 € ont un statut dépérissant. Cette feuille représente 5 % de l'échantillon et a 57 % de pureté. Aussi, les exploitations qui ont une évolution du stock de vin en baisse depuis 2014, une évolution à la marge en baisse et des dépenses annuelles en produit phytosanitaire supérieures ou égales à 21 000 € ont un statut plutôt intermédiaire. Cette feuille est composée de 9 % de l'échantillon avec une pureté de 77 %. Une autre variable importante qui ressort de la classification est le taux d'endettement. Selon l'arbre de décision, les exploitations qui ont à la fois une évolution de stock de vin et de marge en baisse, un niveau de dépenses en produit phytosanitaire inférieur à 21 000 €, un taux d'endettement inférieur à 5 % du chiffre d'affaires annuelles et une surface d'exploitation supérieure ou égal à 12,5 ont un statut non dépérissant. La feuille constitue 9 % de l'échantillon avec une pureté de 77 %.

Enfin, les variables qui représentent les facteurs les plus discriminants selon la méthode CART pour l'évaluation du statut dépérissant des exploitations sont l'évolution du stock, l'évolution de la marge, les dépenses en produits phytosanitaires et en main-d'œuvre, le taux d'endettement et la surface de l'exploitation. Les résultats ont été validés avec l'échantillon-test et nous avons obtenu un taux de prédiction 46%.

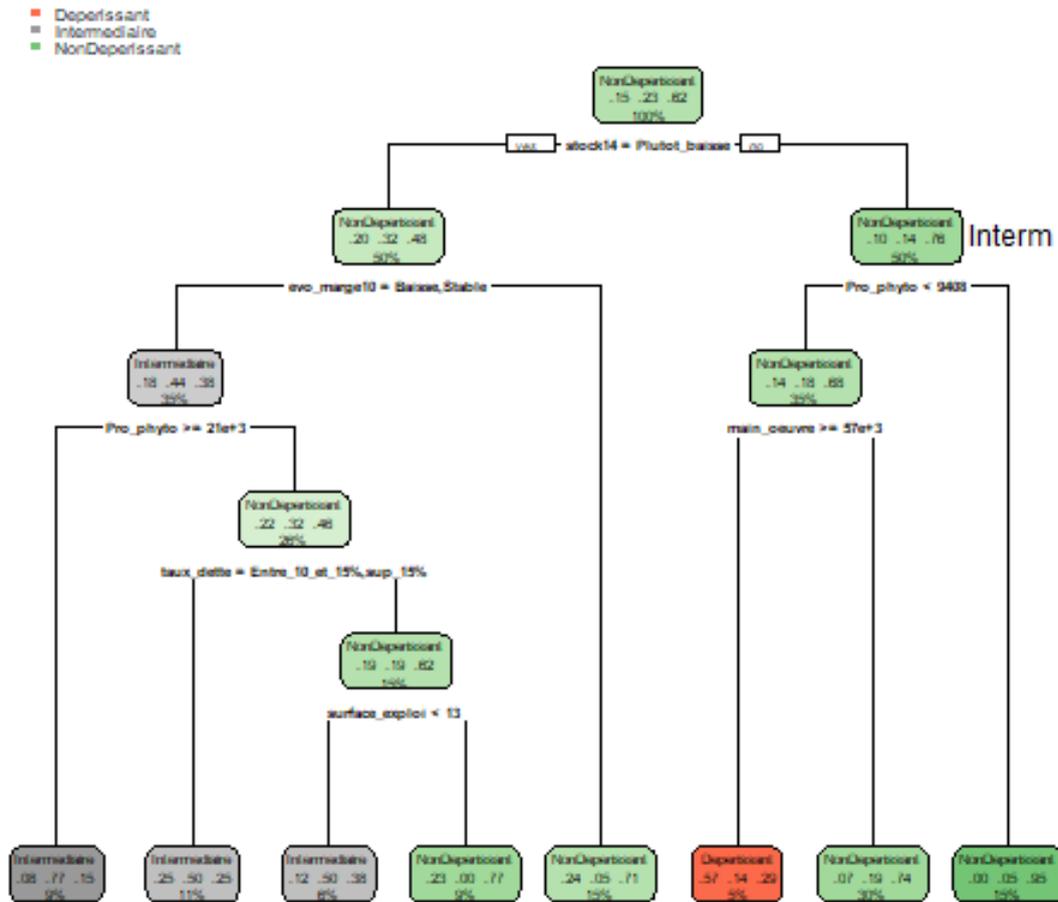


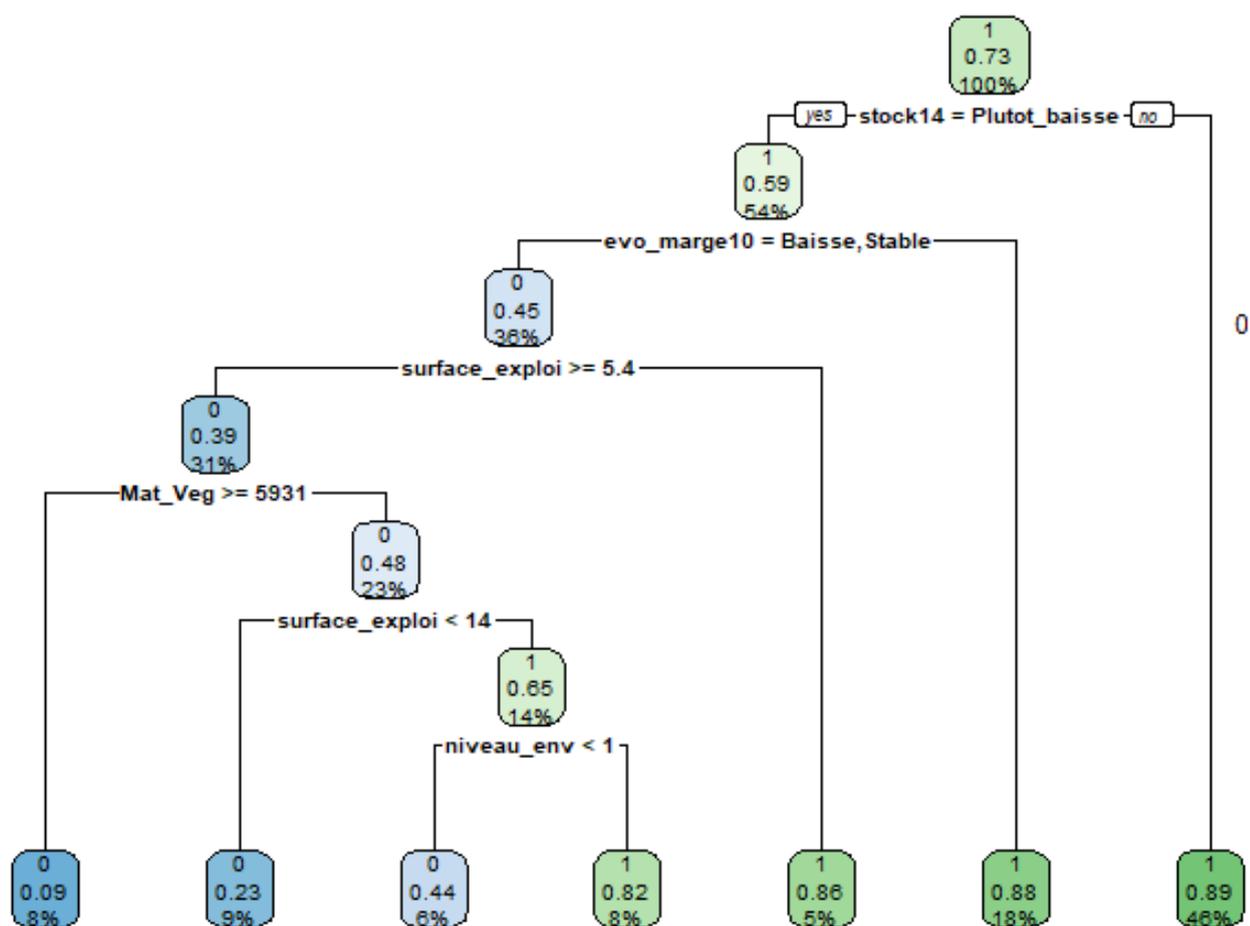
FIGURE 4.11 – Représentation CART : classe dépérissement

#### 4.5.3.1.2 Analyse avec la classe du rendement

Les résultats de l'analyse avec la classe rendement comme variable réponse sont représentés par l'arbre de décision de la figure 4.12. La méthode CART a montré que les variables les plus discriminantes pour l'atteinte de l'objectif de rendement des exploitations sont : le niveau de stock de vin, l'évolution de la marge, la surface d'exploitation, les dépenses en matériel végétal et le niveau d'exigence environnementale. Lorsque nous faisons la lecture de l'arbre de la droite vers la gauche, nous notons que les exploitations qui ont une évolution du stock de vin en hausse sont représentées dans la catégorie de celles qui atteignent leur objectif de rendement. Cette feuille de l'arbre représente 46 % de l'échantillon d'apprentissage avec une pureté de 89 %. Ensuite, 18 % des exploitations qui ont atteint leur objectif de rendement ont un niveau de stock de vin en baisse et une marge brute en hausse. Cette feuille est pure à 88 %. Aussi, les exploitations qui ont à la fois un niveau bas de stock de vin et du taux de marge, une surface exploitable supérieure ou égal à 5,365 hectares et un niveau de dépenses en matériel végétal inférieur à 5 931 € sont dans la catégorie de celles qui n'atteignent pas leur objectif de rendement. Elles représentent 23 % de l'échantillon avec une pureté de 90 %. Parmi ces 23% de l'échantillon, les exploitations qui ont une surface d'exploitation supérieure à 14,295 hectares sont dans la catégorie de celles qui atteignent leur objectif de rendement.

#### 4.5.3.1.3 Analyse avec la classe de longévité

Nous utilisons ici la classe de longévité comme variable de réponse. La variable atteinte de longévité est composée de deux modalités : 0 = « non atteint de l'objectif de longévité » et 1 = « atteint de l'objectif de longévité ». Les résultats sont représentés par l'arbre de décision de la figure 4.13 qui montre que les facteurs tels que le niveau de dépenses en matériel végétal et en produit phytosanitaire, le niveau d'exigence environnementale et le taux d'endettement sont les facteurs les plus discriminants pour la classe relative à l'atteinte de l'objectif de la longévité des exploitations. Les exploitations, qui ont un niveau de dépenses en matériel végétal supérieur ou égal 7 200 € n'ont généralement pas atteint leur objectif de longévité. On note que cette feuille est composée de 6 % de l'échantillon d'apprentissage avec une pureté de 56 %. Cela signifie que dans cette feuille, 44 % sont des contre-exemples. En revanche, les exploitations qui ont à la fois un

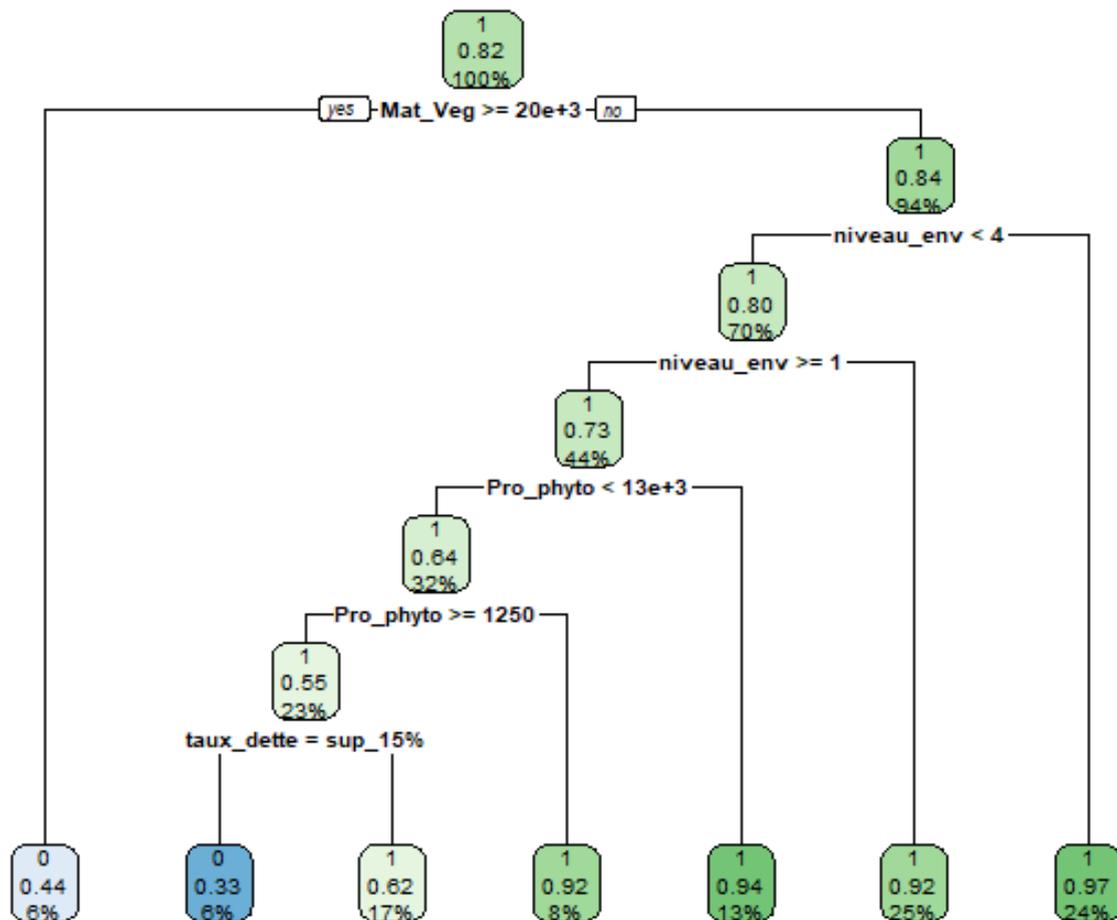


0= Non atteinte de l'objectif de rendement ; 1= Atteinte de l'objectif de rendement

FIGURE 4.12 – Représentation CART : la variable réponse classe longévité

niveau de dépenses en matériel végétal inférieur à 7 200 €, un niveau d'exigence environnementale supérieur à 4, c'est-à-dire très engagée en faveur de l'environnement (engagement certifié AB, Terra vitis, HVE...) atteignent généralement leurs objectifs de longévité. Cette feuille représente 24 % de l'échantillon et est composée de 96 % de pureté. Les exploitations qui ont un niveau environnemental strictement inférieur à 4, mais supérieur ou égal à 1, c'est-à-dire les exploitations qui sont au moins en agriculture raisonnée, atteignent également leur objectif de longévité. Cette feuille représente 25 % de l'échantillon et est composée de 92 % de pureté. Les exploitations avec un niveau d'exigence environnementale strictement inférieure à 1, c'est-à-dire engagées dans

aucune démarche environnementale, ayant un niveau de dépenses en produit phytosanitaire compris entre 1249.5 et 12550.5 et un taux d'endettement supérieur à 15 % du chiffre d'affaires sont dans la catégorie de celles qui n'atteignent pas leur objectif de longévité. Cette feuille est composée de 6 % l'échantillon avec 66 % de pureté. Cependant, la catégorie des exploitations qui ont un taux d'endettement inférieur à 15 % du chiffre d'affaires, atteint son objectif de longévité. Elle représente 17 % de l'échantillon d'apprentissage et a une pureté de 62 %. Nous validons les résultats avec l'échantillon test. Les prédictions des résultats sur l'échantillon test donnent un taux de prédiction 90



0= Non atteinte de l'objectif de longévité ; 1= Atteinte de l'objectif de longévité

FIGURE 4.13 – Représentation CART : Classe longévité

### 4.5.3.2 Méthode Random forest

Nous présentons dans cette section les résultats obtenus avec la méthode Random Forest. Nous avons également fait les analyses avec les trois variables explicatives. Le type de Random Forest effectué est la classification. Le nombre d'arbres de décision réalisé par l'algorithme est de 500. Nous déterminons dans chaque modélisation l'importance des variables en utilisant l'indice Mean Decrease Gini qui est d'autant plus élevé que la variable est importante pour le modèle. Les résultats sont représentés par un graphique qui indique la diminution de cet indice de Gini relative à l'absence des variables. La performance du modèle est déterminée par le biais d'une matrice de confusion générée par l'algorithme Random Forest

#### 4.5.3.2.1 Analyse avec la classe de dépérissement

L'analyse avec la méthode Random Forest donne les variables les plus importantes dans l'explication du statut dépérisant des exploitations. Le modèle permet d'expliquer 61.36 % de la variabilité totale de la variable relative au statut dépérisant. La matrice de confusion montre que la classification est meilleure pour la modalité "Non Deperissant". Les facteurs identifiés expliquent donc mieux les statuts intermédiaires des exploitations (Tableau 4.14).

TABLE 4.14 – Confusion matrix : Variable classe dépérissement

	Deperissant	Intermediaire	NonDeperissant	Class.error
Deperissant	0	2	16	1.00
Intermediaire	1	3	27	0.903
NonDeperissant	0	5	78	0.060

OOB estimate of error rate : 38.64%

La figure 4.14 révèle que les variables les plus discriminantes pour l'explication du statut dépérisant par ordre d'importance sont : les dépenses en main-d'œuvre, en matériel végétal, en produit phytosanitaires, la surface de l'exploitation, le niveau d'exigence environnementale, l'évolution de la marge brute, le taux d'endettement et l'évolution du stock de vin.

#### 4.5.3.2.2 Analyse avec la classe rendement

Les variables les plus importantes pour l'explication de la variable de réponse relative à l'atteinte de l'objectif de rendement des exploitations sont aussi identifiées. Le modèle permet

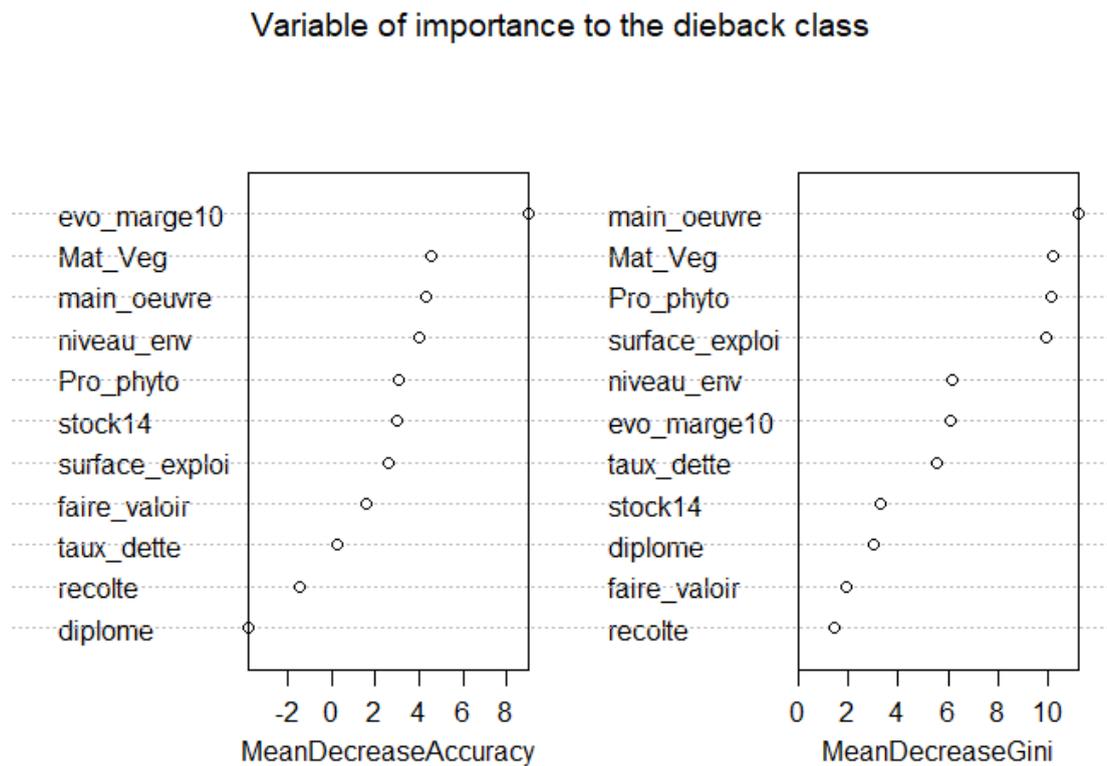


FIGURE 4.14 – Variables importantes pour la classe de dépérissement

d'expliquer 71.21 % de la variabilité totale de la variable. La matrice de confusion nous montre une meilleure classification pour les exploitations qui ont atteint leur objectif de rendement. Les facteurs identifiés par le modèle expliquent donc plus cette classe (Tableau 4.15)

TABLE 4.15 – Confusion matrix : Classe rendement

	Non-Atteinte (0)	Atteinte (1)	Class.error
Non-Atteinte (0)	4	30	0.882
Atteinte (1)	8	90	0.081

OOB estimate of error rate : 28.79%

La figure 4.15 révèle que les variables les plus importantes pour l'atteinte de l'objectif de rendement, par ordre d'importance sont les dépenses en main-d'œuvre et en matériel végétal, la surface de l'exploitation, les dépenses en produits phytosanitaires, l'évolution de la marge brute

ou nette et le niveau d'exigence environnementale.

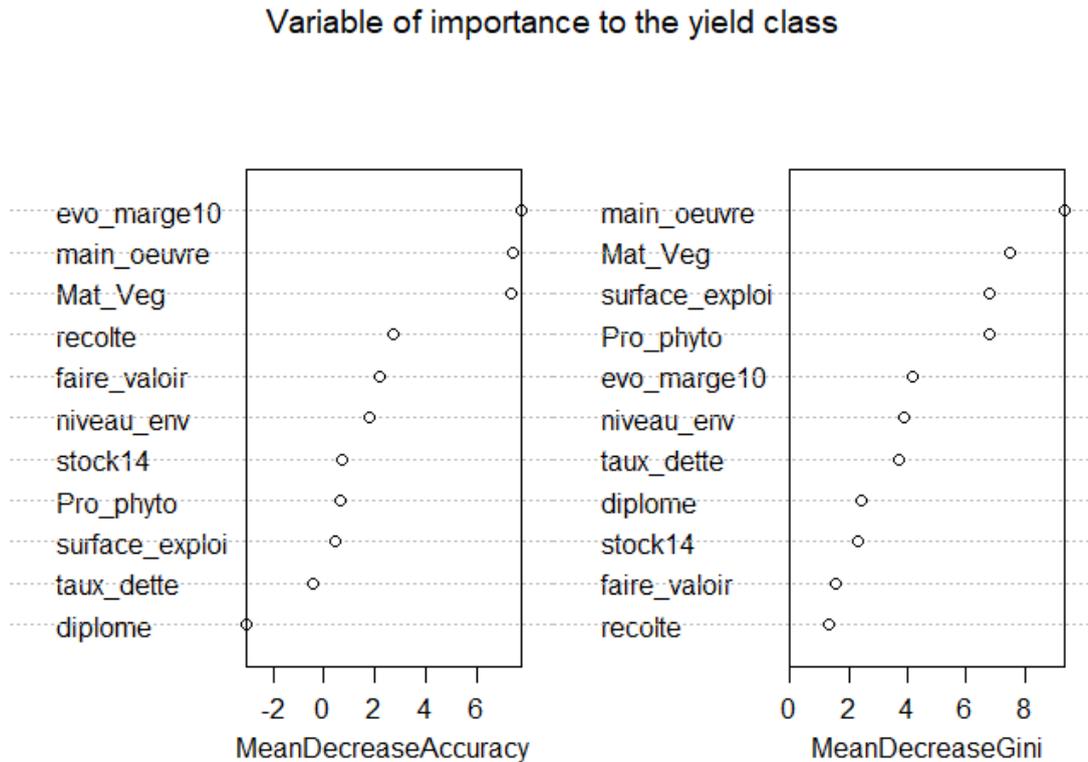


FIGURE 4.15 – Variables importantes pour la classe rendement

#### 4.5.3.2.3 Analyse avec la classe de longévité

Nous identifions ici les variables les plus importantes pour l'explication de la variable relative à l'atteinte de l'objectif de longévité des exploitations. Le modèle permet d'expliquer 83.33 % de la variabilité totale de la variable dépendante. La matrice de confusion montre une meilleure classification pour les exploitations qui ont atteint leur objectif de longévité. Les facteurs identifiés expliquent donc plus cette classe (Tableau 4.16).

TABLE 4.16 – Confusion matrix : Classe longévité

	Non-Atteinte (0)	Atteinte (1)	Class.error
Non-Atteinte (0)	2	21	<b>0.913</b>
Atteinte (1)	1	108	0.009

OOB estimate of error rate : 28.79%

Selon la figure 4.16, les variables les plus importantes pour l'atteinte de l'objectif de la longévité, par ordre d'importance sont les dépenses en produit phytosanitaire et en matériel végétal, la surface de l'exploitation, les dépenses en main d'œuvre et le niveau d'exigence environnementale.

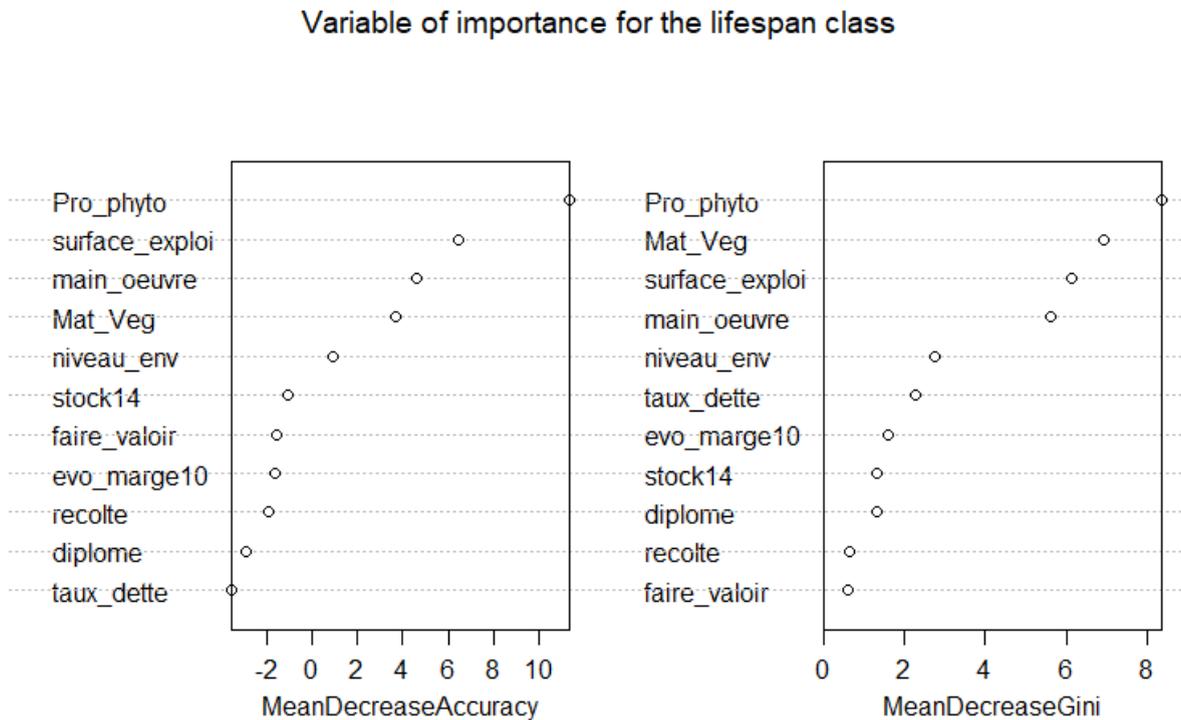


FIGURE 4.16 – Variables importantes pour la classe longévité

### 4.5.3.3 Conclusion des arbres de décisions

Le modèle d'arbres de décision a permis de hiérarchiser les facteurs identifiés en fonction de leur importance dans l'explication du dépérissement, dans l'atteinte de l'objectif de rendement et dans l'atteinte de l'objectif de longévité. Les facteurs déterminés corroborent en général les résultats obtenus par l'ACM et par la régression logistique. La plus-value de l'utilisation de cette méthode est qu'elle permet de hiérarchiser ces facteurs déterminés.

Ensuite, concernant la variable relative au statut dépérissant, les résultats du Random Forest montrent que les facteurs les plus importants sont le niveau des dépenses (en main-d'œuvre, en matériel végétal et produits phytosanitaires), la surface de l'exploitation, le niveau d'exigence

environnementale, l'évolution de la marge brute, le taux d'endettement et l'évolution du stock de vin. Concernant les facteurs qui impacteraient le plus l'atteinte de l'objectif de rendement, on trouve premièrement les dépenses en main-d'œuvre et en matériel végétal, deuxièmement la surface de l'exploitation, troisièmement les dépenses en produits phytosanitaires, quatrièmement l'évolution de la marge brute ou nette, et cinquièmement le niveau d'exigence environnementale. Enfin, pour l'atteinte de l'objectif de longévité, les facteurs par ordre d'importance sont : les dépenses en produit phytosanitaire et en matériel végétal, la surface de l'exploitation, les dépenses en main-d'œuvre et le niveau d'exigence environnementale.

## 4.6 Discussion des résultats

Les différentes méthodes utilisées dans ce chapitre nous ont permis d'identifier certains facteurs socio-économiques qui pourraient expliquer le niveau de dépérissement dans une exploitation. D'abord, nous avons par l'ACM effectué des regroupements d'exploitations en fonction de leur statut de dépérissement et des facteurs qui leur sont les plus proches. Cela nous a permis de souligner en fonction de leur proximité les facteurs qui caractérisent chaque groupe d'exploitation. Ensuite, nous avons utilisé des méthodes explicatives. Premièrement, l'utilisation de la régression logistique nous a permis de calculer les odd-ratios de chaque modalité des variables explicatives par rapport à la variable réponse. Cette méthode a déterminé pour chaque modalité d'un facteur la probabilité d'être une exploitation dépérissante ou non, d'être une exploitation qui atteint son objectif de rendement ou non et la probabilité d'atteindre son objectif de longévité ou non. Deuxièmement, l'utilisation des modèles d'arbres de décision à travers la méthode CART et la méthode du Random Forest ont permis de hiérarchiser les facteurs obtenus en fonction de leur importance pour la variable à expliquer (Figure 4.14, 4.15, 4.16). Enfin, les facteurs identifiés par les différentes méthodes sont généralement les mêmes. L'utilisation de méthodes descriptive et explicative a permis de corroborer l'exactitude de l'importance des facteurs socio-économiques identifiés pour une exploitation viticole française. L'analyse des correspondances multiples, le modèle logit ordonné et les méthodes d'arbres de décision ont souligné en général les mêmes facteurs discriminants. La synthèse de tous les résultats selon les méthodes utilisées est présentée dans le tableau 4.17.

### 4.6.1 Les facteurs socio-économiques et socio-techniques identifiés

#### ► Objectif de rendement de l'exploitation

Le facteur relatif à l'atteinte ou non de l'objectif de rendement est identifié comme un facteur important pour le diagnostic de l'état déperissant de l'exploitation viticole. On note en général que les exploitations qui n'ont pas atteint leur objectif de rendement sont plus associées au groupe des exploitations déperissantes et/ou intermédiaires. En revanche, les exploitations qui ont atteint leur objectif de rendement sont plus associées au groupe d'exploitation non déperissantes. En effet, le phénomène du dépérissement est particulièrement défini par deux dimensions, parmi lesquelles on a la perte de rendement résultant de la mort subite et prématurée des ceps. Le constat d'une diminution du rendement pourrait donc être une alarme pour le viticulteur. Ce facteur représente l'élément important pour l'agriculteur dans sa perception du dépérissement sur son exploitation ([Adebisi, Maiga-Yaleu, Issaka, Ayena, & Yabi, 2019](#) ; [Abas et al., 2020](#)).

#### ► Objectif de longévité de l'exploitation

L'objectif de longévité de l'exploitation est aussi retenu comme facteur important dans la formation des groupes de l'ACM. On note que les exploitations qui n'ont pas atteint leurs objectifs de longévité sont plus associées aux exploitations déperissantes et/ou intermédiaires. En revanche, les exploitations qui ont atteint leur objectif de longévité sont plus associées aux exploitations non déperissantes. En effet, la longévité de la parcelle ou de l'exploitation représente la seconde dimension dans la définition du phénomène du dépérissement. Si nous prenons le facteur de dépérissement lié aux maladies du bois de la vigne, on note qu'une incidence de la maladie très forte sur la parcelle pourrait réduire la durée de vie des ceps ([Lecomte et al., 2022](#) ; [Cholet et al., 2021](#)). La longévité de la parcelle en viticulture est déterminée par la période de l'arrachage, qui est effectuée en fonction du taux de mortalité sur la parcelle et également d'un seuil de rentabilité à l'hectare. Ainsi, plus le taux de mortalité à l'échelle de la parcelle est élevé et plus l'arrachage de la parcelle se fera tôt et dont la longévité sera moindre ([Larignon et al., 2009](#) ; [Projet Longvi, 2020](#)).

#### ► Évolution du taux de marge

Le taux de marge des exploitations est retenu comme un facteur important pour le diagnostic du statut dépérissant de l'exploitation. On note que les exploitations qui ont un taux de marge bas sont plus susceptibles d'être dépérissantes ou intermédiaires. *A contrario*, celles qui ont un taux de marge plutôt élevé seraient plus susceptibles d'être non dépérissantes. En effet, la marge brute ou nette indique la rentabilité globale de l'entreprise. Elles sont obtenues en faisant la soustraction entre le chiffre d'affaires et le coût total supporté (marge brute) ou en faisant le ratio du bénéfice sur le chiffre d'affaires (marge nette). Ainsi, lorsque la marge est en baisse sur une période, cela pourrait signifier que le chiffre d'affaires de l'entreprise évolue moins que proportionnellement aux coûts supportés ou que le bénéfice de l'entreprise est en baisse. Le dépérissement impactant la production et la qualité, pourrait être à la base de cette baisse du bénéfice. L'analyse de l'évolution de cette marge se présente donc comme un facteur qui pourrait aider le viticulteur dans la perception du dépérissement sur son exploitation, car il permet d'analyser, en quelque sorte la santé financière de l'entreprise.

#### ► Évolution du taux d'endettement

Le taux d'endettement est également un facteur qui ressort des analyses. On note que les exploitations qui ont un taux d'endettement élevé (supérieur à 15 % du chiffre d'affaires annuel), sont plus susceptibles d'être dépérissantes ou intermédiaires. *A contrario*, les exploitations qui ont un taux d'endettement faible (inférieur à 5 % du chiffre d'affaires annuel) sont plus susceptibles d'être non dépérissantes. Le taux d'endettement est calculé en faisant le rapport entre les remboursements bancaires annuels (court et long terme) et le chiffre d'affaires du dernier exercice comptable. L'analyse de l'évolution de ce taux permet, comme le taux de marge, de surveiller la santé financière de l'entreprise. Cependant, un taux d'endettement élevé n'est pas en soi une mauvaise chose pour une entreprise à court terme, à condition que la dette contractée serve pour des investissements productifs. Ainsi, les bénéfices de ces investissements permettront à l'entreprise de payer le service de la dette et donc de réduire le taux d'endettement sur le long terme.

#### ► Évolution du stock de vin

Un autre facteur identifié est l'évolution du stock de vin de l'exploitation. On note que les exploitations qui ont une évolution de stock de vin plutôt en baisse depuis 2010, sont plus

susceptibles d'être déperissantes ou intermédiaires. En revanche, les exploitations qui ont une évolution du stock de vin en hausse sont plus susceptibles d'être non déperissantes. En effet, le stock de vin représente l'offre de vin de l'exploitation. Elle est obtenue en faisant la somme de la récolte l'année courante et de stock de l'année précédente. Une évolution du stock en baisse pourrait être due à une baisse de la récolte de raisin (effet rendement du déperissement). Par exemple, depuis plusieurs années, les périodes de gel et de sécheresse ont significativement perturbé la production de raisin en France (Olivesi, 2022). Cependant, une évolution du stock de vin en baisse pourrait également signifier une hausse de la demande ou de la consommation de vin. Et donc que la récolte ne suit pas la demande.

► **Dépenses en main-d'œuvre, en matériel végétal et en produits phytosanitaires**

Les dépenses de l'exploitation représentent également un facteur important selon les résultats de nos analyses. On note que les exploitations qui ont un niveau de dépenses très élevé ( $> 77602.4$  € ;  $> 4400$  € ;  $> 10866.7$  €) ou très faible ( $< 20\,944$  € ;  $< 1500$  € ;  $< 5733.3$  €) en main-d'œuvre, en matériel végétal et en produits phytosanitaires sont plus associées aux exploitations déperissantes ou intermédiaires. En revanche, les exploitations qui sont non déperissantes auraient plutôt un niveau de dépenses en main-d'œuvre, en matériel végétal et en produits phytosanitaires qualifié de moyen. En effet, ces dépenses représentent les besoins de l'exploitation. D'une part, on pourrait interpréter ces résultats par le fait que, le besoin élevé en main-d'œuvre, en matériel végétal et en produits phytosanitaires pourrait venir du statut déperissant de l'exploitation. Ainsi, pour lutter contre le déperissement de ses parcelles, le viticulteur devrait investir massivement dans ces facteurs. D'autre part, les dépenses faibles pourraient plutôt signifier un manque d'investissement de la part du viticulteur pour prendre soin de son exploitation, d'où le statut intermédiaire ou déperissant. Enfin, les dépenses moyennes pourraient signifier une bonne santé de l'exploitation. Cependant, il est important de noter que ce facteur à lui seul ne peut permettre de conjecturer avec certitude sur le statut déperissant d'une exploitation viticole. En effet, les différentes dépenses peuvent être bien dues à des fins préventives comme à des fins curatives contre le déperissement. Il est donc impossible de tirer une conclusion sur ce facteur.

► **Engagement environnemental**

Un autre facteur important qui ressort des analyses est le niveau d'exigence environnementale

de l'exploitation. On note que les exploitations qui sont moyennement engagées en faveur de l'environnement (agriculture raisonnée) sont plus susceptibles d'être dépérisantes ou intermédiaires. En revanche, les exploitations qui sont fortement engagées en faveur de l'environnement (agriculture biologique) ou pas du tout engagées (agriculture conventionnelle) sont plus associées aux groupes d'exploitations non dépérisantes. En effet, les exploitations en transition ou en agriculture raisonnée pourraient être plus exposées par ce qu'elles n'ont pas encore stabilisé leur stratégie de production. D'abord, elles ne bénéficieraient pas totalement d'une part de la marque de qualité et de prix supérieur que confère le label biologique et d'autre part, elles ne bénéficieraient pas, non plus, de la compétitivité-prix que confère l'agriculture conventionnelle (prix de vente du produit plus bas). Ensuite, en ce qui concerne les méthodes de lutte contre le dépérissement, le respect partiel des réglementations de l'agriculture biologique ne lui permet pas d'utiliser certains produits chimiques. Les exploitations en agriculture raisonnée doivent donc trouver une stratégie appropriée pour lutter contre le dépérissement. Enfin, selon certaines études dans la littérature, la stratégie de labellisation d'une exploitation viticole pourrait avoir un impact sur sa production ou sa rentabilité par les exigences du cahier des charges. Certaines montrent que l'agriculture biologique serait plus rentable (Dedieu et al., 2017) alors que d'autres suggèrent que c'est l'agriculture conventionnelle qui serait la plus rentable (Gillot et al., 2022).

#### ► La formation des exploitants

Le niveau de formation des exploitants est identifié comme un facteur important pour l'atteinte de l'objectif de longévité de l'exploitation. On note que les exploitants ayant un niveau d'études supérieures au Baccalauréat auraient plus de chances d'atteindre leur objectif de longévité de leur exploitation que ceux qui auraient un niveau inférieur. En effet, une bonne formation des viticulteurs leur permettrait de mieux gérer leur exploitation. L'éducation est un déterminant de la productivité de l'exploitation (Yakete-Wetonnoubena & Mbetid-Bessane, 2019).

#### ► Cave coopérative

L'adhésion à une cave coopérative ressort aussi comme un facteur important dans la constitution des catégories d'exploitation. On note que les exploitations qui ont adhéré à une cave coopérative, c'est-à-dire les exploitations qui ont envoyé plus de la moitié de leur récolte en cave, sont plus associées au groupe d'exploitations non dépérisantes. En revanche, celles qui n'ont

pas adhéré à une cave coopérative sont plus associées au groupe déperissant ou intermédiaire. En effet, l'adhésion à une cave coopérative permettrait au viticulteur de mieux gérer son exploitation en bénéficiant des avantages de la coopération. Des études montrent que l'adhésion à une coopérative est un effet de stabilisateur socio-économique pour l'exploitation (Delay et al., 2015). La performance économique d'une coopérative permettrait d'améliorer la compétence de l'exploitation via par exemple les partages d'expérience (Touzard, 2011).

#### ► Pratiques culturelles (préventives et curatives)

L'analyse avec les variables relatives aux pratiques culturelles a permis d'identifier celles qui seraient les plus discriminantes dans le statut déperissant d'une exploitation viticole. D'abord, on note que, parmi les pratiques mises en place par les exploitants de notre base de données, la technique de la taille de la vigne est souvent associée au groupe d'individus qui ont une exploitation plutôt déperissante et intermédiaire. En effet, la technique de la taille de la vigne, pratiquée de manière vertueuse, est une méthode préventive contre les maladies du bois. Elle est également nécessaire pour obtenir de bons rendements. Cependant, elle doit être faite dans de bonnes conditions pour l'obtention de l'effet escompté sans blesser les pieds de vigne. La plaie générée par la taille de la vigne fragilise en effet les ceps en les exposant à de nombreux champignons responsables des maladies du bois en fonction de la surface des plaies qu'il convient de réduire. Ainsi les facteurs tels que la période de la taille (prise en compte du climat, pré-taille) et la technique de protection des plaies sont très importants. Si ces facteurs ne sont pas bien pris en compte, la mauvaise taille de la vigne peut constituer l'un des premiers facteurs de dépérissement des vignes (Gramaje et al., 2018). Ensuite, on note que la pratique de la complantation est plus associée à des exploitations non déperissantes. En effet, la complantation est une pratique curative qui est utilisée pour lutter contre le dépérissement et permet de renouveler les ceps morts ou manquants. Elle est la plupart du temps très efficace bien que coûteuse (Prigent, 2004). Enfin, on note, concernant la pratique du curetage, que les résultats sont ambigus, car cette pratique est moins utilisée par les exploitations de l'échantillon.

TABLE 4.17 – Tableaux de synthèse des résultats selon la méthode utilisée

Méthodes	Statut des exploitations		Facteurs discriminants
ACM	Dépérissante et /ou Intermediaire		Non atteinte de l'objectif de rendement Non atteinte de l'objectif de Longévité Taux de marge bas Taux d'endettement haut Stock de vin bas Dépenses en main-d'œuvre élevé ou faible Dépenses en matériel végétal élevé ou faible Dépenses en produits phytosanitaires élevé ou faible Moyennement engagées en faveur de l'environnement Pas adhérent à une cave coopérative Technique de la taille de la vigne
	Non-dépérissante		Atteinte de l'objectif de rendement Atteinte de l'objectif de Longévité Taux de marge élevé Taux d'endettement faible Stock de vin élevé Dépenses en main-d'œuvre moyenne Dépenses en matériel végétal moyenne Dépenses en produits phytosanitaires moyenne Fortement ou pas engagées en faveur de l'environnement Adhérent à une cave coopérative Pratique de la complantation
Logit	Dépérissante et /ou Intermediaire		Stock de vin bas Dépenses en produits phytosanitaires élevé ou faible Moyennement engagées en faveur de l'environnement Adhérent à une cave coopérative Technique de la taille de la vigne
	Non-dépérissante		Stock de vin élevé Dépenses en produits phytosanitaires moyenne Fortement ou pas engagées en faveur de l'environnement Adhérent à une cave coopérative Pratique de la complantation
	Objectif de rendement	Atteinte	L'évolution de la marge hausse ou stable le taux d'endettement baisse ou stable Stock de vins élevé Fortement ou pas engagées en faveur de l'environnement Adhérent à une cave coopérative
		Non-Atteinte	Taux de marge bas Taux d'endettement élevé Stock de vins bas Moyennement en faveur de l'environnement Non adhérent à une cave coopérative
Objectif de longévité	Atteinte	Niveau d'études supérieures au bac Dépenses en produits phytosanitaires basses ou élevées Mode de faire-valoir en fermage	
	Non-Atteinte	Niveau inférieur au bac Dépenses en produits phytosanitaires moyennes Mode de faire-valoir : propriétaires	
Hiérarchie des facteurs les plus discriminant selon le RF			
CART et RF	Dépérissante		Dépenses en main-d'œuvre Dépenses en matériel végétal Dépenses en produits phytosanitaires Surface de l'exploitation Niveau d'exigence environnementale Évolution de la marge brute
			Évolution du taux d'endettement l'évolution du stock de vin
	Objectif de Rendement		
		Dépenses en matériel végétal Surface de l'exploitation Dépenses en produit phytosanitaire Évolution de la marge Niveau d'exigence environnementale	
Objectif de longévité		Dépenses en produit phytosanitaire Dépenses en matériel végétal Surface de l'exploitation Dépenses en main-d'œuvre Niveau d'exigence environnementale	

### 4.6.2 Importance de l'imputation des données sur les résultats

L'ACM et la régression logistique ordinaire ont été réalisées en utilisant les données avec imputation et les données sans imputation. La comparaison générale des résultats a montré que les analyses obtenues avec les données imputées sont plus pertinentes. La bonne gestion des données manquantes, avec cette méthode d'imputation (au lieu d'une suppression des observations liées ces données manquantes qui pourrait introduire un biais dans l'analyse) a permis de mieux identifier les facteurs du dépérissement. Par exemple, nous avons remarqué qu'en ce qui concerne les données sans imputation, les modalités de la variable relative au dépérissement ne contribuaient pas à la formation des deux premiers axes factoriels qui ont été étudiées. Les résultats de cet ACM (avec les données sans imputation) ne nous permettaient pas de faire un lien direct avec le regroupement des autres variables et donc de tirer des conclusions. Nous pouvons donc conclure que l'imputation de la base de données a favorisé l'obtention de résultats plus robustes.

### 4.6.3 Limites de l'étude

La limite principale de cette étude se situe dans les échantillons de données. Pour une meilleure étude socio-économique du phénomène du dépérissement, il serait nécessaire de disposer d'un échantillon de données plus large. En effet, la base de données du CNIV était composée de peu d'observations (190) et de plusieurs valeurs manquantes. La taille de l'échantillon a pu impacter négativement la précision de nos différents modèles. Cela a pu également impacter la significativité des variables explicatives. Aussi, certains facteurs qui pourraient être importants pour l'analyse du dépérissement n'ont pas pu être pris en compte dans l'analyse, car les réponses des enquêtés étaient mal renseignées. Citons par exemple la variable relative à la période de la pratique de la taille qui selon la littérature est un facteur important pour l'efficacité de la prévention contre les maladies de bois de la vigne ( [Kaplan et al., 2016](#))). L'étude n'a pas permis de distinguer les facteurs qui favoriseraient le dépérissement de ceux qui seraient une conséquence du dépérissement, notamment pour les pratiques culturelles. Le manque d'un indice de dépérissement ne nous a pas permis d'analyser le potentiel problème de causalité inverse ou d'endogénéité par l'utilisation de méthode économétrique adéquate. Concernant les méthodes

utilisées pour l'étude, nous notons également des précisions de modèle souvent faible qui pourrait fragiliser la robustesse de nos résultats. Par exemple, comme signifié plus haut, la prise en compte dans le modèle logit ordonné de l'hypothèse de l'égalité des pentes (proportional odd-ratio) qui stipule que l'effet d'une variable est le même quel que soit le niveau de la variable à expliquer et de l'hétéroscédasticité des erreurs nous ont donné des résultats moins significatifs. Les précisions du modèle avec les données d'ajustement où des données test apparaissent un peu faibles.

#### 4.6.4 Perspectives

Plusieurs points pourraient être entrepris pour l'amélioration de cette étude. D'abord, une nouvelle enquête terrain permettrait d'intégrer dans l'étude d'autres facteurs importants tels que la perception qu'ont les viticulteurs du dépérissement, la compétence des cave coopérative, le réseau, la capacité à construire de nouveaux projets, la réputation, etc. Cette enquête pourrait consister à faire des entretiens exploratoires et semi-directifs avec des viticulteurs de différentes régions. L'idée serait de déterminer qualitativement et de manière compréhensive dans quelle mesure les facteurs mis en évidence par la présente analyse sont effectivement des facteurs de dépérissement d'après les viticulteurs. Les données ainsi recueillies pourraient être utilisées pour un meilleur pouvoir explicatif du rôle de ces facteurs dans le dépérissement et produire une analyse socio-économique et socio-technique plus complète. On pourra ainsi comparer les résultats obtenus par les différentes bases de données. Ensuite, sur la méthodologie, il serait intéressant de faire une modélisation en incluant un effet aléatoire relatifs région viticole afin de mettre en évidence son influence sur notre variable d'intérêt. L'idée est que comparativement aux effets fixes qui ne fait aucune hypothèse sur la distribution de ces termes groupés, la spécification à effets aléatoires repose sous l'hypothèse que les effets de groupe suivent une distribution précise (en général normale).

### 4.7 Conclusion

Le phénomène multifactoriel du dépérissement de la vigne représente un problème important dans le secteur qui mérite d'être analysé. Dans le but d'aider les viticulteurs dans le diagnostic de l'état de dépérissement de leur exploitation, nous avons réalisé une analyse socio-économique

de ce phénomène à partir de deux bases de données existantes. L'objectif de cette analyse a été d'identifier les facteurs socio-économiques et socio-techniques qui pourraient permettre d'expliquer le statut déperissant ou non d'une exploitation viticole. Pour ce fait, nous avons en particulier utilisé les données recueillies au cours de l'enquête du CNIV qui a été réalisée sur des exploitations viticoles françaises. L'utilisation de modèles d'analyse multivariée (méthodes descriptives et explicatives) nous a permis d'identifier certains facteurs socio-économiques et socio-techniques dont l'analyse, dans un sens comme dans l'autre, contribuerait au diagnostic du niveau de déperissement des exploitations viticoles. Les facteurs retenus par cette étude sont : **le rendement de l'exploitation, la longévité de l'exploitation, l'évolution du taux de marge, l'évolution du taux d'endettement de l'exploitation, l'évolution du stock de vin, le niveau de dépenses en main-d'œuvre, en matériel végétal et en produits phytosanitaires, le niveau d'engagement environnemental, le niveau de formation de l'exploitant, l'adhésion à une cave coopérative et les pratiques culturelles** (préventives et curatives). Nos résultats complètent ainsi ceux obtenus par le BIPE. Enfin, dans cette analyse, nous avons identifié plus de facteurs socio-économiques que de facteurs socio-techniques. Cependant, les facteurs socio-techniques tels que les dépenses en **matériel végétal** et les **produits phytosanitaires** semblent être plus relatives aux autres facteurs de déperissement (facteurs biotiques ici), alors qu'un approfondissement du lien de causalité entre les facteurs socio-économiques et le niveau de déperissement reste nécessaire.

---

## Conclusion générale

Cette thèse avait pour objectif d'analyser l'impact économique du phénomène du dépérissement de la vigne sur la compétitivité des entreprises viti-vinicoles françaises. Le dépérissement de la vigne est défini comme un phénomène multifactoriel qui entraîne une baisse brutale et pluriannuelle de la productivité et une mort prématurée, brutale ou progressive, du cep de vigne. Plusieurs facteurs sont à l'origine de ce phénomène et sont regroupés en quatre principaux facteurs : les stress environnementaux (changement climatique), les agressions biologiques (maladies du bois, ravageurs), les pratiques viticoles et l'environnement socio-technique extérieur à l'exploitation. Depuis plusieurs années, on observe une érosion des rendements et une hausse très importante de la mortalité des vignes qui fragilise la productivité du vignoble français. Dans un contexte économique plutôt difficile, ces manques à produire impactent directement le profit des entreprises de la filière viti-vinicole et leur positionnement sur le marché du vin. Nous avons ainsi proposé, dans cette thèse, une analyse de l'impact de ce dépérissement sur la compétitivité des entreprises viticoles à travers trois sous-questions.

Tout d'abord, nous avons proposé une étude centrée sur l'analyse de l'impact des baisses de rendement induites par le dépérissement de la vigne sur la formation du prix du vin dans la région de Bordeaux (Chapitre 2). Pour ce faire, nous avons utilisé un modèle de déplacement d'équilibre d'offre et de demande pour la modélisation de l'élasticité-prix. L'estimation de cette

élasticité a été réalisée avec un modèle de panel à effet fixe sur un échantillon de 7 appellations viticoles françaises sur la période 1983 à 2015. Les résultats révèlent qu'une baisse en volume de la récolte de raisin induit une hausse du prix du vin avec une élasticité estimée à 0,201%. Pour prendre en compte l'hétérogénéité des gammes de vin, nous avons effectué un clustering basé sur une logique géographique et sur une logique de marché. Nous avons ainsi pu montrer que les vins d'entrée de gamme sont plus élastiques à la variation de la récolte que les vins de haut de gamme dont l'élasticité n'est pas significative sur notre échantillon. Ces résultats soulignent, d'une part, que les pertes de rendement de raisin constituent pour les entreprises viticoles françaises une perte de compétitivité-prix comparativement aux concurrents étrangers. D'autre part, ils nous révèlent qu'une hausse de la récolte de raisin, qui pourrait résulter par exemple de la mise en place d'une politique de lutte contre le dépérissement, induirait une baisse du prix du vin français à terme. Cette baisse du prix devrait induire un gain de compétitivité-prix pour ces entreprises viticoles. Cependant, sachant que la mise en place de ces pratiques culturales peut représenter des investissements coûteux pour un viticulteur, il était important de compléter cette analyse par une évaluation de la rentabilité économique de ces investissements en situation d'incertitude et de gestion du risque caractéristique en agriculture.

En effet, le dépérissement est un phénomène multifactoriel qui nécessite une adaptation de la part des viticulteurs pour préserver leur productivité. Cette adaptation passe notamment par l'adoption de pratiques culturales, préventives ou curatives, pour préserver les rendements. Nous avons donc analysé ensuite l'impact économique des pratiques culturales curatives telles que le curetage et la complantation - les pratiques préventives ayant été explorées dans la littérature par ailleurs - mises en place pour lutter contre le dépérissement, dans le cas particulier de la lutte contre l'un des facteurs majeurs du dépérissement qui est une des maladies du bois de la vigne, l'Esca (Chapitre 3). Dans ce chapitre, une première partie a présenté l'impact économique de l'adoption du curetage et de la complantation sur une parcelle atteinte d'Esca. À partir d'un modèle de simulation bioéconomique composé de trois modules - épidémiologique, agronomique et économique -, nous avons généré une matrice de données selon différents scénarios en prenant en compte différents niveaux de sévérité de la maladie et deux niveaux d'efficacité des pratiques considérées. À partir de cette matrice, nous avons pu évaluer la valeur actualisée nette (VAN) de la mise en place de ces pratiques de manière déterministe, i.e. en considérant l'adoption d'une

seule et même pratique tout au long de la durée de vie de la parcelle. La méthode de simulation de Monte-Carlo a également été mobilisée pour analyser la sensibilité des scénarios au coût des pratiques et aux variations de prix du vin pour 3 appellations du Sud-Ouest (Entre-deux-Mers, Pauillac et Cognac cru Fins Bois). Étudier différentes appellations a également permis de saisir, au-delà des différences de niveau de valorisation des prix, les différences de cahiers des charges des appellations telles que le rendement maximum autorisé, la densité, et le taux de manquants autorisés. Les VAN obtenues dans chaque scénario avec la mise en place d'une pratique sont ensuite comparées à celles obtenues sans la mise en œuvre des pratiques dans le cadre d'un raisonnement différentiel (adoption d'une pratique versus ne rien faire). Les résultats obtenus ont montré que, quelle que soit la pratique considérée (curetage ou complantation), la mise en œuvre d'une pratique est plus rentable pour les viticulteurs que de ne pas s'adapter, et ce d'autant plus que la sévérité de l'Esca est élevée et que l'efficacité de la pratique est bonne. Leur adoption permettrait donc de maintenir voire d'accroître leur compétitivité-coût en réduisant les pertes économiques et en accroissant la productivité (le rendement à l'unité). Le viticulteur pourra ainsi faire des économies d'échelle comparativement à la situation sans la mise en place de la pratique.

Cette analyse a permis de montrer que malgré l'effet négatif d'une augmentation du rendement sur le prix du vin estimé dans le chapitre 2, l'adoption des pratiques curatives du curetage et de la complantation restent rentables pour le viticulteur. Cela signifie que la hausse de rendement induit par cette adoption est plus que proportionnelle à la baisse du prix du vin. Le viticulteur pourra donc compenser une baisse du prix du vin par une plus grande productivité de la parcelle et une compétitivité-coût plus accrue. Cependant, ayant constaté que ces pratiques étaient difficilement adoptées par les viticulteurs malgré une bonne rentabilité économique, nous nous sommes également interrogés sur le processus de décision que les viticulteurs ont à prendre en situation d'incertitude (compte-tenu des caractéristiques de cette maladie sur une culture pérenne) et compte-tenu de leur attitude face au risque.

Ainsi, dans une seconde partie du chapitre 3, nous avons analysé l'impact du comportement des viticulteurs face au risque et à l'incertitude dans leur prise de décision. Nous avons pour cela mobilisé différents modèles de la théorie de la décision basés sur les critères de choix selon la préférence pour le risque du décideur (neutre au risque, preneur de risque et averse au risque).

Nous avons une nouvelle fois utilisé une simulation de Monte-Carlo sur la matrice de données générées par le modèle bioéconomique dans la première partie du chapitre pour calculer la VAN selon le comportement face au risque des viticulteurs. Les résultats indiquent que, quel que soit le comportement du viticulteur, la décision d'adopter une pratique curative est, en général, plus rentable que la décision de ne mettre en place aucune pratique de lutte contre la maladie de l'Esca. Cependant, selon le comportement face au risque du viticulteur, la pratique préférée peut varier. C'est un facteur important à prendre en compte pour l'adaptation des viticulteurs et leur accompagnement dans le choix d'une stratégie de lutte contre cette maladie. Nous montrons également qu'il existe des avantages économiques substantiels à l'adoption de ces pratiques lorsque l'on passe d'une efficacité faible à une efficacité élevée. Ce résultat souligne la nécessité d'une bonne formation des viticulteurs à ces nouvelles pratiques. Cette seconde partie du chapitre révèle donc que le comportement face au risque du viticulteur, bien que très important dans sa prise de décision, ne devrait pas le décourager dans l'adoption du curetage et de la complantation.

Ainsi, si la rentabilité économique des pratiques du curetage et de la complantation (prix du vin et coût de l'investissement) est favorable pour l'exploitation viticole et si le caractère incertain et aléatoire de la maladie de l'Esca à travers le comportement face au risque du viticulteur ne devrait pas empêcher l'adoption de ces pratiques curatives, alors, il pourrait exister d'autres facteurs liés au contexte socio-économique de l'exploitation qui impacteraient la gestion du dépérissement des viticulteurs. En effet, la méconnaissance des effets et des causes socio-économiques du dépérissement peut constituer un frein à l'adaptation des viticulteurs. Nous étudions ainsi, dans la dernière partie de la thèse, le lien entre le contexte socio-économique des entreprises et le dépérissement de la vigne (Chapitre 4). Pour ce fait, nous utilisons une base de données issues d'une enquête effectuée par le Comité National des Interprofessions du Vin (CNIV) sur des exploitations viticoles françaises. Différentes méthodes multivariées à caractère descriptif et explicatif ont été utilisées pour l'analyse socio-économique. Dans un premier temps, nous utilisons l'analyse des composantes multiples comme méthode descriptive et ensuite, nous utilisons un modèle logit ordonné et des modèles d'arbres de décision comme méthodes explicatives. Les résultats obtenus montrent qu'il existe bien un lien entre le contexte socio-économique des entreprises viticoles et le statut dépérissant ou non de leur exploitation.

On montre notamment que les facteurs tels que le rendement, la longévité, l'évolution du taux de marge, l'évolution du taux d'endettement de l'exploitation, l'évolution du stock de vin, le niveau de dépenses en main-d'œuvre, en matériel végétal et en produits phytosanitaires, le niveau d'engagement environnemental, le niveau de formation de l'exploitant, l'adhésion à une cave coopérative et les pratiques culturales (préventives et curatives) peuvent être discriminants. La situation des exploitations viticoles vis-à-vis de ces facteurs devrait permettre d'identifier leur niveau de sensibilité au dépérissement et d'adapter la gestion et l'accompagnement pour préserver voire améliorer la compétitivité des exploitations viticoles françaises.

A travers ces trois chapitres reposant notamment sur trois articles soumis et/ou en révision, cette thèse a démontré dans un premier temps que le phénomène du dépérissement de la vigne est un réel problème pour la filière viti-vinicole française et que sa mauvaise gestion pourrait dans le long terme entraver la compétitivité des entreprises viticoles. Dans un second temps, elle a montré que les politiques mises en place pour la lutte contre ce phénomène doivent tenir compte du caractère très élastique du marché du vin et de la grande atomicité des produits selon leur gamme. Ensuite, les résultats permettent d'encourager les viticulteurs dans l'adoption de pratiques curatives telles que le curetage et la complantation, d'autant plus pour une parcelle qui aurait une sévérité de la maladie de l'Esca élevée. Des analyses complémentaires seront toutefois nécessaires concernant d'autres pratiques plus confidentielles à ce jour telles que le recépage et le greffage (manque de données). La thèse souligne également l'importance de la prise en compte du comportement face au risque des viticulteurs pour les accompagner dans leur processus d'adaptation. Enfin, elle suggère que la bonne gestion de certains facteurs socio-économiques pourrait permettre aux viticulteurs de minimiser l'effet du dépérissement dans leur exploitation.

Ainsi, sachant la grande complexité du phénomène du dépérissement et les difficultés que rencontrent les viticulteurs pour leur adaptation, il conviendrait que le gouvernement français mette en place des politiques spécifiques d'accompagnements à l'échelle microéconomique, pour aider les viticulteurs français dans ce processus. Un outil d'aide à la décision pour leur permettre de faire des investissements productifs adaptés à leur situation serait le bienvenu. Il s'agirait de pouvoir déterminer facilement, à l'aide d'un outil en ligne, laquelle des pratiques - préventives ou curatives - ils auraient intérêt à mettre en oeuvre, dans un premier temps en fonction de différentes informations telles que le cépage, l'âge de la parcelle, et le niveau de sévérité de

la maladie considérée. Dans un deuxième temps, le modèle pourrait également intégrer leur attitude face au risque. Le modèle de simulation bioéconomique développé dans cette thèse pourrait évoluer dans ce sens avec des améliorations. Cette proposition fera entre autres partie intégrante d'un projet en cours de construction qui sera soumis au prochaine appel à projets de recherche du PNDV.

Au-delà des résultats et applications éventuelles de la thèse, un fait d'actualité a toutefois attiré notre attention à la fin de la rédaction, fait d'actualité qui comporte des implications pour notre problématique. Si le dépérissement est caractérisé par une baisse de rendement, une crise appelée « crise de surproduction de raisin » a été mise en avant en 2023 dans la région bordelaise, première région viticole française. On constate en effet, dans la région de Bordeaux (110 000 hectares), un problème de surproduction ([LaTribune, 2023](#)). Cet élément interroge en regard des difficultés à produire mises en avant dans le cadre du dépérissement. Il s'agit cependant moins de surproduction que de difficulté à vendre la production existante, qui n'atteint pas la production attendue en zone d'AOC (non atteinte des rendements maximum d'appellation). Les viticulteurs n'arrivent donc pas à écouler leur production, si diminuée soit-elle, car la demande de vin est inférieure à l'offre. Selon les statistiques, on note un surplus de production évalué à 1 million d'hectolitres ([LaTribune, 2023](#)). La profession viticole se pose donc des questions sur la gestion de ce surplus de récolte.

Pour répondre à cette difficulté de vendre, les représentants de la profession de la région ont proposé d'arracher 10 % du vignoble, ce qui représente environ 10 000 à 15 000 hectares de vignes. Dans le but d'aider les viticulteurs pour le financement de ces arrachages qui représentent un coût très élevé, les autorités françaises ont mis en place un plan d'arrachage des parcelles dans la région. Après avoir fixé dans un premier temps une aide pour la campagne de distillation et d'arrachage d'un montant de 160 millions d'euros – niveau d'intervention jugé très bas par les viticulteurs, le Ministre chargé de l'agriculture, Marc Fesneau, a annoncé le 1er mars 2023 une prime d'un montant de 6 000 euros par hectare arraché pour les viticulteurs en difficulté. Le 17 avril 2023, le Conseil Interprofessionnel des Vins de Bordeaux (CIVB) a donné l'approbation du plan d'arrachage, avec un financement total de 57 millions d'euros ([Bazalge, 2023](#)). Les raisons principales avancées pour ces ultimes solutions sont d'une part, d'éviter l'effondrement des prix

et d'autre part, d'éviter un potentiel problème sanitaire. En effet, le délaissement des parcelles sans entretien des vignobles peut laisser se développer des maladies qui pourraient se propager à d'autres vignobles et générer des épidémies.

Face à ces deux situations opposées de perte de rendement pour cause de dépérissement d'une part et de surproduction pour difficulté de vendre d'autre part, la question qui se pose est de savoir s'il est encore nécessaire pour les viticulteurs de cette région d'investir dans des moyens de lutte contre le dépérissement de la vigne (maladies du bois par exemple). En effet, bien que notre thèse montre un effet positif de certaines pratiques curatives sur la rentabilité d'une exploitation, la question du coût d'opportunité de cette adoption face au problème de surproduction se pose. Si les viticulteurs produisent plus qu'ils ne vendent et que la demande ne suit pas l'offre sur le marché, pourquoi devraient-ils investir dans des solutions pour lutter contre des maladies qui réduisent le rendement ? N'est-il pas préférable de laisser le dépérissement limiter ce surplus ? Cela réduirait naturellement les rendements et donc l'offre sur le marché et permettrait aux viticulteurs d'économiser le coût de l'arrachage et celui de l'investissement dans les pratiques de lutte. Avec cette analyse, les effets négatifs du dépérissement sur le volume produit semblent constituer une sorte d'aubaine pour les viticulteurs dans le contrôle de la production. Vu ces différents arguments, on serait donc tenté de conclure que dans ce contexte de surproduction, la recherche d'un moyen de lutte contre la baisse des rendements pour les viticulteurs est totalement contre-productive (coût de l'investissement dans des pratiques curatives et coût de l'arrachage).

Cependant, plusieurs facteurs permettent de comprendre que la lutte contre le phénomène du dépérissement reste très importante même dans ce contexte, notamment à cause du caractère incertain des agressions biotiques (maladie du bois) et abiotiques (changement climatique par exemple les gels, grêle, sécheresse, etc.). Par exemple, avec les maladies du bois, il est quasiment impossible de prédire l'évolution de la maladie sur une parcelle viticole à ce jour (dynamique épidémiologique non traduite en équations). Avoir un volume élevé de rendement à l'année  $t$  ne garantit pas que la parcelle n'est pas infectée. La maladie peut être à l'état latent sans expression des symptômes. Ne pas mettre en place de pratiques préventives de lutte contre ces maladies pourrait être risqué pour l'exploitation sur le long terme. De même, si - après apparition des symptômes - rien n'est fait, les parcelles pourraient totalement dépérir, entraînant une perte d'outil de production ou des renouvellements très rapprochés (à un coût prohibitif), et une perte

---

de patrimoine viticole (paysager notamment). À terme, si la sévérité de la maladie augmente avec l'apparition des symptômes, les rendements peuvent être sévèrement impactés comme nous le montrons dans le chapitre 3 de la thèse dans le scénario sans action face à l'Esca. Ces pertes impacteront négativement la rentabilité économique des entreprises viticoles de la région et le développement économique local dont on a montré la dépendance à cette filière au début de la thèse. Si on prend l'exemple du changement climatique, l'absence d'adaptation des viticulteurs - comme cela a été modélisé par [Hannah et al. \(2013\)](#) - entraînerait à terme la disparition des vignes et de la production de raisins de cuve d'ici 2050.

Ensuite, la lutte contre le dépérissement est primordiale pour la préservation de la qualité des vins produits. En effet, le dépérissement de la vigne n'a pas que des effets négatifs sur le rendement produit et la longévité des parcelles, ce phénomène impacte également la qualité des baies. Comme cela a été documenté dans cette thèse, différentes études ont souligné l'effet négatif des maladies du bois sur la qualité de raisin obtenue. Elles montrent que ces maladies impactent de manière défavorable la teneur en sucre, l'acidité et la teneur en composés phénoliques ([Grosman & Doublet, 2012](#)). Dans une étude sur la maladie du bois de l'Esca, [Cholet et al. \(2021\)](#) ont également montré son effet négatif sur la qualité des baies. L'étude montre également que la mise en place de la pratique curative du curetage permettrait à la plante de reprendre ses propriétés physiologiques et de ramener dans le long terme la qualité des baies à leur niveau normal. [Jourdes \(2015\)](#) quant à lui, montre dans son étude qu'à partir de 5 % de raisin touché par la maladie de l'Esca, la qualité du vin produit est sensiblement impactée. Une baisse de qualité pourrait réduire la demande de vin français et impacter négativement la compétitivité hors-prix des entreprises viticoles. Les consommateurs les plus exigeants auront tendance à se rabattre sur les vins étrangers de meilleure qualité. La diminution de la demande pourrait contribuer à renforcer cette situation de surproduction ou de non-vente du vin produit. De plus, les résultats de cette thèse révèlent que la solution d'arrachage n'est pas la plus optimale sur le long terme pour la filière viticole française. En effet, l'arrachage réduira le volume de récolte ce qui augmentera à terme le prix du vin. Et comme cela a été analysé dans la thèse (Chapitre 2), cette hausse pourrait impacter négativement la compétitivité-prix des entreprises viticoles françaises. Selon nos estimations, arracher 10 % de la récolte de la région induirait une hausse du prix d'environ 2.01 % en moyenne. L'effet devrait être un peu plus élevé pour ces vins d'entrée

de gamme de Bordeaux avec une hausse de 2,85 % du prix.

La solution la plus optimale réside sûrement dans le développement et la mise en œuvre de politiques de filière qui permettraient d'accroître la demande de vin français pour les vins d'entrée de gamme. Le développement des stratégies marketing et la lutte contre les maladies du bois de la vigne pour préserver la qualité du vin, seraient donc des solutions de long terme qui pourraient, non seulement permettre d'accroître la demande nationale, mais aussi la demande internationale. Enfin, la lutte contre le dépérissement de la vigne dans toutes les régions françaises et dans la région de Bordeaux en particulier apparaît comme une nécessité pour le suivi et le maintien de la compétitivité-prix et hors-prix des entreprises viticoles. Il faudrait travailler conjointement sur le marketing à travers la création de nouvelle marque pour accroître la demande de vin, le développement de l'œnotourisme, et la lutte contre les effets néfastes du dépérissement. Cela permettrait de maintenir la qualité du vin produit tout en répondant à la demande extérieure qui ne cesse d'augmenter ([FEVS, 2023](#)).

---

## Références

- Abas, M. A., Fuad, A. S. M., Nor, A. N. M., Amin, M. F. M., Hassin, N. H., Yusoff, A. H., . . . Wee, S. T. (2020). Paddy farmers perceived the socio-economic impacts of climate change : a case study in pasir mas, kelantan. In *Iop conference series : Earth and environmental science* (Vol. 549, p. 012075).
- Abdesselam, R. (2019). *Analyse des données : Méthodes factorielles*. <https://perso.univ-lyon2.fr/~rabbesse/Documents/UFR-SEG/MASTER/M2/CEE/>. (Cours M2-CEE)
- Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Tukey's honestly significant difference (hsd) test. *Encyclopedia of research design*, 3(1), 1–5.
- ACT. (2023). *Dieback*. <https://www.environment.act.gov.au/act-nrm/biodiversity/biodiversity-investment-plan/climate-change-adaptation/dieback>. (Environment, Planning and Sustainable Development Directorate - Environment)
- Adebiyi, K. D., Maiga-Yaleu, S., Issaka, K., Ayena, M., & Yabi, J. A. (2019). Déterminants de l'adoption des bonnes pratiques de gestion durable des terres dans un contexte de changement climatique au nord bénin : cas de la fumure organique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(2), 998–1010.
- Agreste. (2018). Memento filière viti-vinicole. *AGRESTE, Nouvelle Aquitaine*, 1–33.
- Agreste. (2020). *La filière viti-vinicole girondine au premier rang national de la viticulture d'appellation*. [https://draaf.nouvelle-aquitaine.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/AgresteNAEtudes\\_7juin2020\\_FFvitiGironde\\_RECTIFICATIF\\_cle0edc51.pdf](https://draaf.nouvelle-aquitaine.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/AgresteNAEtudes_7juin2020_FFvitiGironde_RECTIFICATIF_cle0edc51.pdf). (FICHES FILIÈRE)
- Ahijevych, D., Pinto, J. O., Williams, J. K., & Steiner, M. (2016). Probabilistic forecasts of mesoscale convective system initiation using the random forest data mining technique. *Weather and Forecasting*, 31(2), 581–599.

- Aka, J., Ugaglia, A. A., & Lescot, J.-M. (2018). Pesticide use and risk aversion in the french wine sector. *Journal of Wine Economics*, 13(4), 451–460.
- Allais, M. (1953). Le comportement de l'homme rationnel devant le risque : critique des postulats et axiomes de l'école américaine. *Econometrica : Journal of the Econometric Society*, 503–546.
- Allard, R., & Loslier, G. (1988). *Dictionnaire d'épidémiologie*. St-Hyacinthe [Québec] : Edisem.
- Allen, C. D., Breshears, D. D., & McDowell, N. G. (2015). On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the anthropocene. *Ecosphere*, 6(8), 1–55.
- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., ... others (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest ecology and management*, 259(4), 660–684.
- Allen, C. D., et al. (2009). Climate-induced forest dieback : an escalating global phenomenon. *Unasylva*, 231(232), 60.
- Alonso Ugaglia, A. (2011). *Une approche évolutionniste de la réduction des pesticides en viticulture* (Thèse de doctorat non publiée). Bordeaux 4.
- Alston, J. M., Carter, C. A., Green, R., & Pick, D. (1990). Whither armington trade models? *American Journal of Agricultural Economics*, 72(2), 455–467.
- Alston, J. M., Fuller, K. B., Kaplan, J. D., & Tumber, K. P. (2013). Economic consequences of pierce's disease and related policy in the california winegrape industry. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 269–297.
- Alston, J. M., & Sambucci, O. (2019). Grapes in the world economy. In *The grape genome* (pp. 1–24). Springer.
- Amerine, M., Winkler, A., et al. (1944). Composition and quality of musts and wines of california grapes. *Hilgardia*, 15(6), 493–675.
- Anderson, K., & Nelgen, S. (2011). *Global wine markets, 1961 to 2009 : a statistical compendium*. University of Adelaide Press.
- Anderson, P., O'Donnell, A., Kokole, D., Jané Llopis, E., & Kaner, E. (2021). Is buying and drinking zero and low alcohol beer a higher socio-economic phenomenon? analysis of british survey data, 2015–2018 and household purchase data 2015–2020. *International*

- Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(19), 10347.
- Arjun, K. M. (2013). Indian agriculture-status, importance and role in indian economy. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4(4), 343–346.
- Arora, G., Feng, H., Anderson, C. J., & Hennessy, D. A. (2020). Evidence of climate change impacts on crop comparative advantage and land use. *Agricultural Economics*, 51(2), 221–236.
- Asare, I. O., & Mensah, A. C. (2020). Crash severity modelling using ordinal logistic regression approach. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 27(4), 412–419.
- Ashenfelter, O. (1989). How auctions work for wine and art. *Journal of Economic Perspectives*, 3(3), 23–36.
- Ashenfelter, O. (2008). Predicting the quality and prices of bordeaux wine. *The Economic Journal*, 118(529), F174–F184.
- Ashenfelter, O., & Storchmann, K. (2010a). Measuring the economic effect of global warming on viticulture using auction, retail, and wholesale prices. *Review of Industrial Organization*, 37, 51–64.
- Ashenfelter, O., & Storchmann, K. (2010b). Using hedonic models of solar radiation and weather to assess the economic effect of climate change : The case of mosel valley vineyards. *The Review of Economics and Statistics*, 92(2), 333–349.
- Ashenfelter, O., & Storchmann, K. (2016). Climate change and wine : A review of the economic implications. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 105–138.
- Atallah, S. S., Gómez, M. I., & Conrad, J. M. (2017). Specification of spatial-dynamic externalities and implications for strategic behavior in disease control. *Land Economics*, 93(2), 209–229.
- Athanasoglou, P. P., & Bardaka, I. C. (2010). New trade theory, non-price competitiveness and export performance. *Economic Modelling*, 27(1), 217–228.
- Aydilek, I. B., & Arslan, A. (2013). A hybrid method for imputation of missing values using optimized fuzzy c-means with support vector regression and a genetic algorithm. *Information Sciences*, 233, 25–35.
- Azadi, Y., Yazdanpanah, M., & Mahmoudi, H. (2019). Understanding smallholder farmers' adaptation behaviors through climate change beliefs, risk perception, trust, and psychologi-

- cal distance : Evidence from wheat growers in iran. *Journal of environmental management*, 250, 109456.
- Baldé, S. (2016). L'ensablement des rizières et ses impacts environnementaux et socio-économiques dans la commune de dioulacolon (région de kolda).
- Bank, W. (2018). *Agriculture and food*. <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/overview>.
- Bank, W. (2022). *Agriculture, forestry, and fishing, value added (% of gdp)*. <https://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR.TOTL.ZS>.
- Banque de France, E. (2018). Les taux d'intérêt légal.
- Bardos, M. (2001). *Analyse discriminante : application au risque et scoring financier*. Dunod.
- Bargain, O., Cardebat, J.-m., & Chiappini, R. (2023). Trade uncorked : Genetic distance and taste-related barriers in wine trade. *American Journal of Agricultural Economics*, 105(2), 674–708.
- Barnett, W. A. (1979). Theoretical foundations for the rotterdam model. *The Review of Economic Studies*, 46(1), 109–130.
- Baumgartner, K., Hillis, V., Lubell, M., Norton, M., & Kaplan, J. (2019). Managing grapevine trunk diseases in california's southern san joaquin valley. *American Journal of Enology and Viticulture*, ajev–2019.
- Bazalge, O. (2023). *L'interprofession des vins de bordeaux vote un plan d'arrachage à 57 millions € pour 9500 hectares*. <https://www.vitisphere.com/actualite-99167-linterprofession-des-vins-de-bordeaux-vote-un-plan-darrachage-a-57-millions-pour-9500-hectares.html>. (Vitisphere)
- Bazen, S., & Cardebat, J.-M. (2018). Forecasting bordeaux wine prices using state-space methods. *Applied Economics*, 50(47), 5110–5121.
- Bazen, S., & Cardebat, J. M. (2022). Why have bordeaux wine prices become so difficult to forecast? *Economics Bulletin*, 42(1), 124–142.
- Begum, M., Farid, M. S., Barua, S., & Alam, M. J. (2020). Covid-19 and bangladesh : socio-economic analysis towards the future correspondence.
- Bell, D. E. (1982). Regret in decision making under uncertainty. *Operations research*, 30(5), 961–981.

- Bentivoglio, D., Chiaraluce, G., Staffolani, G., Bianchelli, F., & Finco, A. (2022). Covid-19's impact on italian wine market : Critical issues and opportunities. In *Book of abstracts* (p. 17).
- Bergstrand, J. H. (1990). The heckscher-ohlin-samuelson model, the linder hypothesis and the determinants of bilateral intra-industry trade. *The Economic Journal*, 100(403), 1216–1229.
- Berkson, J. (1951). Why i prefer logits to probits. *Biometrics*, 7(4), 327–339.
- Bernoulli, D. (1738). Specimen theoriae novae de mensura sortis. commentarii academiae scientiarum imperialis. *Petropolitanae*, 5, 175–192.
- Bertsch, C., Ramírez-Suero, M., Magnin-Robert, M., Larignon, P., Chong, J., Abou-Mansour, E., ... Fontaine, F. (2013). Grapevine trunk diseases : complex and still poorly understood. *Plant Pathology*, 62(2), 243–265.
- Betoule, M., Kessler, R., Guy, J., Mosher, J., Hardin, D., Biswas, R., ... others (2014). Improved cosmological constraints from a joint analysis of the sdss-ii and snls supernova samples. *Astronomy & Astrophysics*, 568, A22.
- BIPE. (2015). *Etat de l'art des connaissances sur les facteurs du dépérissement du vignoble*. <file:///C:/Users/SAVE/Downloads/Fiches%20BiPE%20par%20facteurs.pdf>.
- BIPE. (2016). *Présentation du plan national de lutte contre les dépérissements du vignoble*. [https://www.plan-deperissement-vigne.fr/sites/default/files/2020-/BIPE\\_Plan\\_Deperissements\\_Rapport%20final.pdf](https://www.plan-deperissement-vigne.fr/sites/default/files/2020-/BIPE_Plan_Deperissements_Rapport%20final.pdf). (Cabinet de prospective économique et conseil stratégique)
- BIVB. (2017a). Complanter ou replanter sa parcelle ? ce qu'il faut savoir. *Bureau interprofessionnel des Vins de Bourgogne*, 1–5.
- BIVB. (2017b). *Complanter ou replanter sa parcelle ?* [https://extranet.bivb.com/technique-et-qualite/publications-techniques/plaquettes-techniques/gallery\\_files/site/2992/3312/42716.pdf](https://extranet.bivb.com/technique-et-qualite/publications-techniques/plaquettes-techniques/gallery_files/site/2992/3312/42716.pdf). (Ce qu'il faut savoir.)
- Bodiguel, L. (2008). Le financement de l'activité viticole : Introduction. *Revue de Droit Rural*(363, dossier 14).
- Bodrud-Doza, M., Shammi, M., Bahlman, L., Islam, A. R. M., Rahman, M., et al. (2020). Psycho-social and socio-economic crisis in bangladesh due to covid-19 pandemic : a perception-based

- assessment. *Frontiers in public health*, 341.
- Bouvier, J.-B., & Ornik, M. (2022). The maximax minimax quotient theorem. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 192(3), 1084–1101.
- Brady, M. E. (2018). On the immense and severe confusions and muddles about the nature of subjective and objective probability in the theory of rational expectations : A subjective probability (distribution) can never become an objective probability (distribution) or a true or a correct probability. *Available at SSRN 3289046*.
- Breiman, L. (2001). Statistical modeling : The two cultures (with comments and a rejoinder by the author). *Statistical science*, 16(3), 199–231.
- Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R., & Stone, C. (1984). Cart. *Classification and regression trees*.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (2017). *Classification and regression trees*. Routledge.
- Brentari, E., Levaggi, R., & Zuccolotto, P. (2015). A hedonic price analysis for the italian wine in the domestic market. *Quality & Quantity*, 49, 999–1012.
- Brèteau-Amores, S., Fortin, M., Andrés-Domenech, P., & Bréda, N. (2022). Is diversification a suitable option to reduce drought-induced risk of forest dieback ? an economic approach focused on carbon accounting. *Environmental Modeling & Assessment*, 27(2), 295–309.
- Brodley, C. E., & Utgoff, P. E. (1995). Multivariate decision trees. *Machine learning*, 19, 45–77.
- Bruetz, E., Haidar, R., Alou, M. T., Vallance, J., Bertsch, C., Mazet, F., ... others (2015). Bacteria in a wood fungal disease : characterization of bacterial communities in wood tissues of esca-foliar symptomatic and asymptomatic grapevines. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1137.
- Bruetz, E., Lecomte, P., Grosman, J., Doublet, B., Bertsch, C., Fontaine, F., ... others (2013). Overview of grapevine trunk diseases in france in the 2000s. *Phytopathologia Mediterranea*, 262–275.
- Brugière, F., Aigrain, P., Duchêne, E., Garcia De Cortazar Atauri, I., Gautier, J., Ollat, N., ... Touzard, J.-M. (2016). Une prospective pour le secteur vignes et vins dans le contexte du changement climatique.

- Brunette, M., Bourke, R., Hanewinkel, M., & Yousefpour, R. (2018). Adaptation to climate change in forestry : A multiple correspondence analysis (mca). *Forests*, 9(1), 20.
- Burke, M., & Tanutama, V. (2019). *Climatic constraints on aggregate economic output* (Rapport technique). National Bureau of Economic Research.
- Burton, B. J., & Jacobsen, J. P. (2001). The rate of return on investment in wine. *Economic Inquiry*, 39(3), 337–350.
- Business, B. (2022). *Marché de l'alcool en france : lettres de noblesses et nouvelles tendances*. <https://bordeaux.business/marche-alcool-france-nouvelles-tendances/>. (Le Comité National des Interprofessions des Vins à Appellation d'Origine et à Indication Géographique (Cniv))
- Byron, R. P., & Ashenfelter, O. (1995). Predicting the quality of an unborn grange. *Economic Record*, 71(1), 40–53.
- Camara, A. A., Dugué, P., Cheylan, J.-P., & Kalms, J.-M. (2009). De la forêt naturelle aux agroforêts en guinée forestière.
- Cardebat, J.-M. (2017). *Économie du vin*. La Découverte.
- Cardebat, J.-M. (2023). *Vins et spiritueux : un immense secteur économique aux contours flous*. <https://theconversation.com/vins-et-spiritueux-un-immense-secteur-economique-aux-contours-flous-198612>.
- Cardebat, J.-M., & Figuet, J.-M. (2019). The impact of exchange rates on french wine exports. *Journal of Wine Economics*, 14(1), 71–89.
- Cardebat, J.-M., Masset, P., & Weisskopf, J.-P. (2020). Covid-19 : What is next for the market for fine wines ?
- Carlson, G. A. (1970). A decision theoretic approach to crop disease prediction and control. *American Journal of Agricultural Economics*, 52(2), 216–223.
- Cevik, S., & Sedik, T. S. (2014). A barrel of oil or a bottle of wine : how do global growth dynamics affect commodity prices ? *Journal of Wine Economics*, 9(1), 34–50.
- Chen, J., Wang, G., Shen, Y., & Giannakis, G. B. (2018). Canonical correlation analysis of datasets with a common source graph. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 66(16), 4398–4408.
- Chevet, J.-M., Lecocq, S., & Visser, M. (2011). Climate, grapevine phenology, wine production,

- and prices : Pauillac (1800–2009). *American Economic Review*, 101(3), 142–146.
- Chiffolleau, Y. (2004). Réseaux d'apprentissage et innovation dans une organisation productive. l'exemple d'un projet qualité en coopérative viticole : Connaissance et relations sociales. *Recherches sociologiques (Louvain-la-Neuve)*, 35(3), 91–101.
- Chira, K., Suh, J. H., Saucier, C., & Teissède, P. L. (2008). Les polyphénols du raisin. *Phytothérapie*, 6(2), 75–82.
- Cholet, C., Bruez, É., Lecomte, P., Barsacq, A., Martignon, T., Giudici, M., ... Gény, L. (2021). Plant resilience and physiological modifications induced by curettage of esca-diseased grapevines. *OENO One*, 55(1), 153–169.
- Cholet, C., Bruez, E., Lecomte, P., Rey, P., Boury, T., Martignon, T., ... Geny-Denis, L. (2019). Intérêt du curetage dans la lutte contre l'esca. *Phytoma*(728), 24–27.
- Choubin, B., Zehtabian, G., Azareh, A., Rafiei-Sardooi, E., Sajedi-Hosseini, F., & Kişi, Ö. (2018). Precipitation forecasting using classification and regression trees (cart) model : a comparative study of different approaches. *Environmental earth sciences*, 77(8), 1–13.
- Chouinard, H. H., Paterson, T., Wandschneider, P. R., & Ohler, A. M. (2008). Will farmers trade profits for stewardship? heterogeneous motivations for farm practice selection. *Land Economics*, 84(1), 66–82.
- CIVB. (2012). *Le point sur les maladies du bois*. <https://www.plan-deperissement-vigne.fr/sites/default/files/2020-05/Maladies%20du%20bois%20bordeaux.pdf>. (Les cahiers techniques du Conseil Interprofessionnel du Vin de Bordeaux (CIVB).)
- CIVB. (2019). *Vin de bordeaux*. [https://www.bordeaux.com/media/wp-content/uploads/2020/03/DP2020\\_CIVB\\_g%C3%A9n%C3%A9ral\\_BD.pdf](https://www.bordeaux.com/media/wp-content/uploads/2020/03/DP2020_CIVB_g%C3%A9n%C3%A9ral_BD.pdf). (Dossier de presse bilan 2019 et stratégie 2020)
- Clem. (2018). *Préserver son vignoble : La technique de la complantation*. <https://dico-du-vin.com/la-technique-de-la-complantation/>. (Dico du vin, le dictionnaire du vin.)
- Clot, S., Stanton, C. Y., & Willinger, M. (2017). Are impatient farmers more risk-averse? evidence from a lab-in-the-field experiment in rural uganda. *Applied Economics*, 49(2), 156–169.
- CNIV. (2019). *Chiffres clés*. <https://www.intervin.fr/etudes-et-economie-de-la-filiere/chiffres-cles>. (Le Comité National des Interprofessions des Vins à Ap-

- pellation d'Origine et à Indication Géographique (Cniv))
- Commission, E. (2008). Agriculture :cap health check will help farmers meet new challenges. <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP081749>.
- ContÁ<sup>2</sup>, F., Fiore, M., Vrontis, D., & Silvestri, R. (2015). Innovative marketing behaviour determinants in wine smes : the case of an italian wine region. *International Journal of Globalisation and Small Business*, 7(2), 107–124.
- Corbière, M., & Larivière, N. (2020). *Méthodes qualitatives, quantitatives et mixtes, 2e édition : Dans la recherche en sciences humaines, sociales et de la santé*. PUQ.
- Costanigro, M., McCluskey, J. J., Lusk, J., et al. (2011). *Hedonic price analysis in food markets*. Oxford University Press Oxford.
- Costanigro, M., McCluskey, J. J., & Mittelhammer, R. C. (2007). Segmenting the wine market based on price : hedonic regression when different prices mean different products. *Journal of agricultural Economics*, 58(3), 454–466.
- Crucianu, M., Yacoub, M., & Audebert, N. (2020). *Cours cnam rcp208*. <http://ce-dric.cnam.fr/vertigo/Cours/ml/coursDonneesManquantes.html>. (Cnam)
- Cusmano, L., Morrison, A., & Rabellotti, R. (2010). Catching up trajectories in the wine sector : A comparative study of chile, italy, and south africa. *World development*, 38(11), 1588–1602.
- Darriaut, R., Martins, G., Dewasme, C., Mary, S., Darrietort, G., Ballestra, P., ... others (2021). Grapevine decline is associated with difference in soil microbial composition and activity. *OENO One*, 55(3), 67–84.
- Davidescu, A. A. M., Apostu, S.-A., Strat, V. A., Scărădeanu, A. I., Zgură, I. D., & Horga, M. G. (2021). The impact of teleworking on the romanians employees'job satisfaction. an empirical evidence based on multiple correspondence analysis (mca) and logistic regression. *Amfiteatru Economic*, 23(58), 637–653.
- Davis, G. C., & Espinoza, M. C. (1998). A unified approach to sensitivity analysis in equilibrium displacement models. *American Journal of Agricultural Economics*, 80(4), 868–879.
- Deardorff, A. V. (1984). Testing trade theories and predicting trade flows. *Handbook of international economics*, 1, 467–517.
- Deaton, A., & Muellbauer, J. (1980). An almost ideal demand system. *The American economic*

- review*, 70(3), 312–326.
- DECIDEP. (2019). *Dernières avancées sur les dépérissements de la vigne*. <https://www.plan-deperissement-vigne.fr/recherches/programmes-de-recherche/decidep>. (Analyse technico-économique de l'impact des pratiques culturales pour faire face au dépérissement)
- Dedieu, M.-S., Lorge, A., Louveau, O., & Marcus, V. (2017). Les exploitations en agriculture biologique : quelles performances économiques. *Les acteurs économiques et l'environnement-Edition*, 35–44.
- Defraigne, J.-C., & Nouveau, P. (2022). *Introduction à l'économie européenne*. De Boeck Supérieur.
- Delay, E., Chevallier, M., Rouvellac, E., & Zottele, F. (2015). Les effets socio-économiques et paysagers du système coopératif viticole en territoires de montagne. *Journal of Alpine Research/Revue de géographie alpine*(103-1).
- Delmas, C. E., Fabre, F., Jolivet, J., Mazet, I. D., Richart Cervera, S., Deliere, L., & Delmotte, F. (2016). Adaptation of a plant pathogen to partial host resistance : selection for greater aggressiveness in grapevine downy mildew. *Evolutionary Applications*, 9(5), 709–725.
- Delord, B., Montaigne, É., & Coelho, A. (2015). Vine planting rights, farm size and economic performance : do economies of scale matter in the french viticulture sector ? *Wine economics and Policy*, 4(1), 22–34.
- De Montaignac, H. (2019). Le curetage porte ses fruits. *La Vigne*(316), 32–33.
- Denoeux, T. (2019). Decision-making with belief functions : a review. *International Journal of Approximate Reasoning*, 109, 87–110.
- De Orduna, R. M. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*, 43(7), 1844–1855.
- Dewasme, C., Mary, S., Darrietort, G., Roby, J.-P., & Gambetta, G. A. (2022). Long-term esca monitoring reveals disease impacts on fruit yield and wine quality. *Plant Disease*, 106(12), 3076–3082.
- Diel, M. I., Lúcio, A., Lambrecht, D. M., Pinheiro, M. V. M., Sari, B. G., Olivoto, T., . . . Luis, A. (2020). Canonical correlations in agricultural research : mxethod of interpretation used leads to greater reliability of results. *Int J Inn Educ Res*, 8(7), 171–81.
- Dillon, J. L. (1971). An expository review of bernoullian decision theory in agriculture : Is utility

- futility? *Review of marketing and agricultural economics*, 39(430-2016-31041), 3–80.
- Dornbusch, R. (1990). *Exchange rate economics*. Springer.
- Doublet, B., & Grosman, j. (2018). Situation du vignoble synthèse des résultats issus des dispositifs d'observation 2017. *Journée nationales des maladies du bois Dijon.*, 1–3.
- Douglas, I. (2006). The local drivers of land degradation in south-east asia. *Geographical Research*, 44(2), 123–134.
- Durand, C., & Nave, S. (2007). Les paysans de l'alaotra, entre rizières et tanety. *Etude des dynamiques agraires et des stratégies paysannes dans un contexte de pression foncière. Lac Alaotra, Madagascar*.
- Durkin Jr, J. T., & Krygier, M. (2000). Differences in gdp per capita and the share of intraindustry trade : The role of vertically differentiated trade. *Review of international economics*, 8(4), 760–774.
- Dury, J. (2011). *The cropping-plan decision-making : a farm level modelling and simulation approach* (Thèse de doctorat non publiée).
- Dwivedi, R., Kareemulla, K., Singh, R., Rizvi, R., & Chauhan, J. (2016). Socio-economic analysis of agroforestry systems in western uttar pradesh. *Indian Research Journal of Extension Education*, 7(3), 18–22.
- Dyson, R. G. (1980). Maximin programming, fuzzy linear programming and multi-criteria decision making. *Journal of the Operational Research Society*, 31(3), 263–267.
- Eales, J. S., & Unnevehr, L. J. (1994). The inverse almost ideal demand system. *European Economic Review*, 38(1), 101–115.
- Ecophytopic. (2013). *Le matériel végétal*. [https://ecophytopic.fr/sites/default/files/Guide%20Leg\\_FT4\\_materiel%20vegetal.pdf](https://ecophytopic.fr/sites/default/files/Guide%20Leg_FT4_materiel%20vegetal.pdf). (Fiche technique)
- Ellis-Iversen, J., Cook, A. J., Watson, E., Nielen, M., Larkin, L., Wooldridge, M., & Hogeveen, H. (2010). Perceptions, circumstances and motivators that influence implementation of zoonotic control programs on cattle farms. *Preventive veterinary medicine*, 93(4), 276–285.
- Enström, M., & Eriksson, J. (2018). Farmers' behaviour in risky decision-making..
- Esquivel-Muelbert, A., Baker, T. R., Dexter, K. G., Lewis, S. L., Brienen, R. J., Feldpausch, T. R., ... others (2019). Compositional response of amazon forests to climate change.

- Global Change Biology*, 25(1), 39–56.
- Etner, J., Jeleva, M., & Tallon, J.-M. (2012). Decision theory under ambiguity. *Journal of Economic Surveys*, 26(2), 234–270.
- Ewert, J. (2005). How competitive is south africa ? advances and challenges in the transformation of the cape wine industry. *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*, 58(231-232), 371–396.
- Fanon, C. (1806). *Des causes du dépérissement des forêts*. Chez Michelet.
- Fassier-Boulanger, S. (2020). L'aoc ne ferait-elle plus rêver ? quand des vignerons y renoncent pour mieux valoriser leurs terroirs. *Pour*, 237(1-2), 283–295.
- Fauset, S., Baker, T. R., Lewis, S. L., Feldpausch, T. R., Affum-Baffoe, K., Foli, E. G., ... Swaine, M. D. (2012). Drought-induced shifts in the floristic and functional composition of tropical forests in ghana. *Ecology letters*, 15(10), 1120–1129.
- Feder, G. (1979). Pesticides, information, and pest management under uncertainty. *American Journal of Agricultural Economics*, 61(1), 97–103.
- FEVS. (2023). *Dossier de presse : Exportation de vin et spiritueux*. <https://www.fevs.com/wp-content/uploads/2023/03/dp03-2023.pdf>. (la Fédération des exportateurs de vins et spiritueux)
- Florine, L., Alston, J., & Cardebat, J. (2018). Are there too many appellations of origin ? the case of bordeaux wines. In *The auguste escoffier prize 2018. 2nd wine & hospitality management workshop*.
- FNSEA. (2022). *L'agriculture fait vivre les territoires !* <https://www.fnsea.fr/observatoire-de-lemploi/>. (Fédération Nationale des Syndicats d'Exploitants Agricoles (FNSEA))
- Fogarty, J. (2010a). The demand for beer, wine and spirits : a survey of the literature. *Journal of Economic Surveys*, 24(3), 428–478.
- Fogarty, J. (2010b). Wine investment and portfolio diversification gains. *Journal of Wine Economics*, 5(1), 119–131.
- Fogarty, J., & Sadler, R. (2014). To save or savor : A review of approaches for measuring wine as an investment. *Journal of Wine Economics*, 9(3), 225–248.
- Fontaine, F., Gramaje, D., Armengol, J., Smart, R., Nagy, Z. A., Borgo, M., ... Corio-Costet, M.-F. (2016). *Grapevine trunk diseases. a review*. OIV publications.

- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of marketing research*, 18(1), 39–50.
- Fowlkes, E. B., & Mallows, C. L. (1983). A method for comparing two hierarchical clusterings. *Journal of the American statistical association*, 78(383), 553–569.
- Fox, J., & Hong, J. (2010). Effect displays in r for multinomial and proportional-odds logit models : Extensions to the effects package. *Journal of Statistical Software*, 32, 1–24.
- Fraga, H., García de Cortázar Atauri, I., Malheiro, A. C., & Santos, J. A. (2016). Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in europe. *Global change biology*, 22(11), 3774–3788.
- FranceAgriMer. (2019). *Les chiffres-clés de la filière viti-vinicole 2008/2018*. <https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/62836/document/chiffres-fili%C3%A8re-viti-vinicole-2008-2018.pdf?version=9>. (FranceAgriMer Stats 2017)
- FranceAgriMer. (2020). *Les chiffre-clés de la filière viti-vinicole 2009 - 2019*. [https://www.franceagrimer.fr/content/download/65545/document/CC-VIN-2020-chiffres-cles\\_vin\\_2009-2019.pdf](https://www.franceagrimer.fr/content/download/65545/document/CC-VIN-2020-chiffres-cles_vin_2009-2019.pdf). (FranceAgriMer Stats 2020)
- FranceAgrimer. (2022). *La viticulture française*. <https://agriculture.gouv.fr/infographie-la-viticulture-francaise>. (Ministère de l’Agriculture et de la souveraineté alimentaire)
- FranceAgriMer. (2022). *Prospective filière française vignes et vin. À l’horizon 2040-2045*. [https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/69404/document/PROSP\\_ETU\\_VIN\\_IGP.pdf?version=1](https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/69404/document/PROSP_ETU_VIN_IGP.pdf?version=1). (FranceAgriMer Stats 2017)
- FranceAgriMer CNIV BIPE. (2016). *Analyse socio-économique*. [https://www.plan-deperissement-vigne.fr/sites/default/files/2020-0/BIPE\\_Plan\\_Deperissements\\_Rapport%20final.pdf](https://www.plan-deperissement-vigne.fr/sites/default/files/2020-0/BIPE_Plan_Deperissements_Rapport%20final.pdf). (Franceagrimer CNIV BIPE Analyse socio-économique.)
- FranceAgriMer CNIV BIPE. (2018). *Rapport bipe cniv - analyse socioéconomique des dépérissements*.
- Fuller, K. B., & Alston, J. M. (2012). The demand for california wine grapes. *Journal of Wine Economics*, 7(2), 192–212.

- Gambetta, G. A. (2016). Water stress and grape physiology in the context of global climate change. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 168–180.
- García-Peña, M., Arciniegas-Alarcón, S., Krzanowski, W. J., & Duarte, D. (2021). Missing-value imputation using the robust singular-value decomposition : Proposals and numerical evaluation. *Crop Science*, 61(5), 3288–3300.
- Gillot, M., Blasquiet-Revol, H., & Jeanneaux, P. (2022). Différenciation et compétitivité : quelle performance pour les exploitations viticoles françaises sous signe de qualité? *Cahiers Agricultures*, 31, 2.
- Gispert, C., Kaplan, J. D., Deyett, E., & Rolshausen, P. E. (2020). Long-term benefits of protecting table grape vineyards against trunk diseases in the california desert. *Agronomy*, 10(12), 1895.
- Gladstones, J. (1992). Viticulture and environment (underdale, south australia : Winetitles).
- Glevarec, H., & Cibois, P. (2021). Structure and historicity of cultural tastes. uses of multiple correspondence analysis and sociological theory on age : The case of music and movies. *Cultural Sociology*, 15(2), 271–291.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... Toulmin, C. (2010). Food security : the challenge of feeding 9 billion people. *science*, 327(5967), 812–818.
- Gouvernement of Canada. (2020). *Economic impacts*. <https://natural-resources.canada.ca/our-natural-resources/forests/wildland-fires-insects-disturbances/forest-pest-management/economic-impacts/13387>.
- Gramaje, D., Urbez-Torres, J. R., & Sosnowski, M. R. (2018). Managing grapevine trunk diseases with respect to etiology and epidemiology : current strategies and future prospects. *Plant disease*, 102(1), 12–39.
- Green, R., & Alston, J. M. (1990). Elasticities in aids models. *American journal of agricultural economics*, 72(2), 442–445.
- Griffin, D., & Anchukaitis, K. J. (2014). How unusual is the 2012–2014 california drought? *Geophysical Research Letters*, 41(24), 9017–9023.
- Grosman, J., & Doublet, B. (2012). Maladies du bois de la vigne : Synthèse des dispositifs d’observation au vignoble, de l’observatoire 2003-2008 au réseau d’épidémiosurveillance

- actuel. *Phytoma-La Défense des Végétaux*(651), 31–35.
- Guan, Z., & Wu, F. (2017). Modeling heterogeneous risk preferences. *Agricultural Finance Review*, 77(2), 324–336.
- Guerin-Dubrana, L., Fontaine, F., & Mugnai, L. (2019). Grapevine trunk disease in european and mediterranean vineyards : Occurrence, distribution and associated disease-affecting cultural factors. *Phytopathologia mediterranea*, 58(1), 49–71.
- Guérin-Dubrana, L., Labenne, A., Labrousse, J. C., Bastien, S., Rey, P., & Gégout-Petit, A. (2013). Statistical analysis of grapevine mortality associated with esca or eutypa dieback foliar expression. *Phytopathologia Mediterranea*, 276–288.
- Guyomard, H., Huyghe, C., Peyraud, J.-L., Boiffin, J., Coudurier, B., Jeuland, F., & Urruty, N. (2013). *Vers des agricultures à hautes performances* (Thèse de doctorat non publiée). Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective.
- Haeger, J. W., & Storchmann, K. (2006). Prices of american pinot noir wines : climate, craftsmanship, critics. *Agricultural economics*, 35(1), 67–78.
- Hannah, L., Roehrdanz, P. R., Ikegami, M., Shepard, A. V., Shaw, M. R., Tabor, G., ... Hijmans, R. J. (2013). Climate change, wine, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(17), 6907–6912.
- Hannus, V., & Sauer, J. (2020). Are farmers as risk-averse as they think they are? *Proceedings in Food System Dynamics*, 165–173.
- Hardaker, J., Huirne, R., Anderson, J., Lien, G., et al. (2004). Introduction to risk in agriculture. *Coping with risk in agriculture*(Ed. 2), 1–22.
- Harrington, D. H., & Dubman, R. (2008). *Equilibrium displacement mathematical programming models : Methodology and model of the us agricultural sector* (Rapport technique).
- Hartmann, H., Bastos, A., Das, A. J., Esquivel-Muelbert, A., Hammond, W. M., Martínez-Vilalta, J., ... others (2022). Climate change risks to global forest health : emergence of unexpected events of elevated tree mortality worldwide. *Annual Review of Plant Biology*, 73, 673–702.
- Hartmann, H., Moura, C. F., Anderegg, W. R., Ruehr, N. K., Salmon, Y., Allen, C. D., ... others (2018). Research frontiers for improving our understanding of drought-induced tree and forest mortality. *New Phytologist*, 218(1), 15–28.

- Herman, G. R., & Schumacher, R. S. (2018). Money doesn't grow on trees, but forecasts do : Forecasting extreme precipitation with random forests. *Monthly Weather Review*, *146*(5), 1571–1600.
- Hertzler, G., Sanderson, T., Capon, T., Hayman, P., Kingwell, R., McClintock, A., ... Randall, A. (2014). Farmer decision-making under climate change : a real options analysis. *Applied Studies in Climate Adaptation*, 122–129.
- Hillis, V., Lubell, M., Kaplan, J., & Baumgartner, K. (2017). Preventative disease management and grower decision making : a case study of california wine-grape growers. *Phytopathology*, *107*(6), 704–710.
- Hobbs, M. B., Vengco, S. M., Bolton, S. L., Bettiga, L. J., Moyer, M. M., & Cooper, M. L. (2022). Adoption of best management practices for grapevine leafroll and red blotch diseases : A survey of west coast growers. *PhytoFrontiers<sup>TM</sup>*, *2*(3), 181–191.
- Hofstetter, V., Buyck, B., Croll, D., Viret, O., Couloux, A., & Gindro, K. (2012). What if esca disease of grapevine were not a fungal disease? *Fungal Diversity*, *54*(1), 51–67.
- Horowitz, J. K., & Lichtenberg, E. (1994). Risk-reducing and risk-increasing effects of pesticides. *Journal of Agricultural Economics*, *45*(1), 82–89.
- Hosmer Jr, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied logistic regression* (Vol. 398). John Wiley & Sons.
- Huggins, R., & Thompson, P. (2015). Culture and place-based development : A socio-economic analysis. *Regional Studies*, *49*(1), 130–159.
- IDF. (2019). *Dépérissements, décrire pour mieux agir*. [https://www.cnpf.fr/sites/socle/files/2022-09/FE246\\_bdef.pdf](https://www.cnpf.fr/sites/socle/files/2022-09/FE246_bdef.pdf). (Institut pour le Développement Forestier)
- IFV. (2018). *Matériel végétal*. <http://www.vignevin-charentes.com/recherche/materiel-vegetal.html>. (Institut Français de la Vigne et du vin)
- IGN. (2021). *Bilan de santé des forêts françaises*. <https://www.ign.fr/reperes/bilan-de-sante-des-forets-francaises>. (Institut national de l'information géographique et forestière (IGN))
- Inglis, D. (2019). Wine globalization : Longer-term dynamics and contemporary patterns. *The Globalization of Wine*, 21–46.
- IPCC. (2019). *Climate change and land*. <https://www.ipcc.ch/srccl/>. (An IPCC Special

- Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems)
- IREF. (2017). *Comment rétablir la compétitivité de la viticulture française*. <https://fr.irefeurope.org/publications/etudes-et-monographies/article/comment-retablir-la-competitivite-de-la-viticulture-francaise/>.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning* (Vol. 112). Springer.
- Jepson, P. R., & Arakelyan, I. (2017). Developing publicly acceptable tree health policy : public perceptions of tree-breeding solutions to ash dieback among interested publics in the uk. *Forest Policy and Economics, 80*, 167–177.
- Johnson, P. R., et al. (1971). *Studies in the demand for us exports of agricultural commodities* (Rapport technique). North Carolina State University, Department of Economics.
- Johnson, S., Corsten, M., McDonald, J., & Chun, J. (2010). Socio-economic factors and stage at presentation of head and neck cancer patients in ottawa, canada : A logistic regression analysis. *Oral oncology, 46*(5), 366–368.
- Joly, P.-B., & Lemarié, S. (2000). Cinquante ans d'innovation en agriculture : quelques enseignements des approches socio-économiques. *Economie rurale, 255*(1), 86–97.
- Jones, G. V., Reid, R., & Vilks, A. (2012). Climate, grapes, and wine : structure and suitability in a variable and changing climate. *The geography of wine : Regions, terroir and techniques*, 109–133.
- Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R., & Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic change, 73*(3), 319–343.
- Jordà, Ò. (2005). Estimation and inference of impulse responses by local projections. *American economic review, 95*(1), 161–182.
- Jourdes, K. P. F. G.-D. R. e. D., Lorrain. (2015). Effet de l'esca sur la qualité des raisins et des vins. *Journées Nationales sur les maladies du bois. Colmar.*, 1–2.
- Junninen, H., Niska, H., Tuppurainen, K., Ruuskanen, J., & Kolehmainen, M. (2004). Methods for imputation of missing values in air quality data sets. *Atmospheric Environment, 38*(18), 2895–2907.
- Junz, H. B., & Rhomberg, R. R. (1973). Price competitiveness in export trade among industrial

- countries. *The American Economic Review*, 63(2), 412–418.
- Kaplan, J., Travadon, R., Cooper, M., Hillis, V., Lubell, M., & Baumgartner, K. (2016). Identifying economic hurdles to early adoption of preventative practices : the case of trunk diseases in california winegrape vineyards. *Wine Economics and Policy*, 5(2), 127–141.
- Keast, D., & Walsh, L. G. (1979). Passage and survival of chlamydospores of phytophthora cinnamomi rands, the causal agent of forest dieback disease, through the gastrointestinal tracts of termites and wild birds. *Applied and Environmental Microbiology*, 37(3), 661–664.
- Keil, P., & Chase, J. M. (2019). Global patterns and drivers of tree diversity integrated across a continuum of spatial grains. *Nature ecology & evolution*, 3(3), 390–399.
- Kenfaoui, J., Radouane, N., Mennani, M., Tahiri, A., El Ghadraoui, L., Belabess, Z., ... others (2022). A panoramic view on grapevine trunk diseases threats : Case of eutypa dieback, botryosphaeria dieback, and esca disease. *Journal of Fungi*, 8(6), 595.
- Keshavarz-Ghorabae, M. (2021). Assessment of distribution center locations using a multi-expert subjective–objective decision-making approach. *Scientific Reports*, 11(1), 1–19.
- Keynes, J. M. (1921). *A treatise on probability*. Macmillan and Company, limited.
- Kodinariya, T. M., Makwana, P. R., et al. (2013). Review on determining number of cluster in k-means clustering. *International Journal*, 1(6), 90–95.
- Konan, M. E., Lecomte, P., Guerin, D. L., & Ugaglia, A. A. (2023). Economic impact of curative practices on a declining vine plot. *In process of submission*.
- Krasker, W. S. (1979). The rate of return to storing wines. *Journal of Political Economy*, 87(6), 1363–1367.
- Kulkova, A., & Osenniy, A. (2019). Compétitivité de la france dans la filière viticole mondiale : Facteurs et perspectives. *94.3 (4)*, 104.
- Kumar, G., Engle, C., & Tucker, C. (2018). Factors driving aquaculture technology adoption. *Journal of the world aquaculture society*, 49(3), 447–476.
- Kumbhakar, S. C. (2002). Specification and estimation of production risk, risk preferences and technical efficiency. *American Journal of Agricultural Economics*, 84(1), 8–22.
- Kumbhakar, S. C., & Tveterås, R. (2003). Risk preferences, production risk and firm heterogeneity. *Scandinavian Journal of Economics*, 105(2), 275–293.
- Laplace, P. S. (1812). *Théorie analytique des probabilités*, 2 vols. Paris : Courcier Imprimeur.

- Laplace, P. S. (1820). *Théorie analytique des probabilités*. Courcier.
- Lapola, D. M., Pinho, P., Quesada, C. A., Strassburg, B. B., Rammig, A., Kruijt, B., ... others (2018). Limiting the high impacts of amazon forest dieback with no-regrets science and policy action. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(46), 11671–11679.
- Larignon, P., Fontaine, F., Farine, S., Clément, C., & Bertsch, C. (2009). Esca et black dead arm : deux acteurs majeurs des maladies du bois chez la vigne. *Comptes Rendus Biologies*, 332(9), 765–783.
- LaTribune. (2023). *Une nouvelle campagne de distillation face à la crise viticole*. <https://objectifaquitaine.latribune.fr/agroalimentaire/2023-02-07/1-etat-annonce-une-nouvelle-campagne-de-distillation-face-a-la-crise-viticole-950887.html>. (La Tribune Bordeaux)
- Lecomte, P., Cholet, C., Bruez, E., Martignon, T., Giudici, M., Simonit, M., ... others (2022). Recovery after curettage of grapevines with esca leaf symptoms. *Phytopathologia Mediterranea*, 473–489.
- Lecomte, P., & Darrietort, G. (2014). Les symptômes del'esca : Resultats d'observations précises et régulières dans des parcelles très atteintes. enseignements pour la recherche et la gestion de cette importante maladié de déperissement de la vigne. *Le Progrès agricole et viticole*, 131(9), 11.
- Lecomte, P., Darrietort, G., Liminana, J.-M., Comont, G., Muruamendiaraz, A., Legorburu, F. J., ... others (2014). Esca de la vigne, ce que révèlent les symptômes si on les suit dans le temps.
- Lee, J., Kim, G., & Choi, K. (2020). The relationship between childbirth, housing and socio-economic factors : The pattern analysis using decision tree. *Journal of Development and Communication Studies*, 21(2), 327–336.
- Le Fur, E., & Outreville, J.-F. (2019). Fine wine returns : A review of the literature. *Journal of Asset Management*, 20(3), 196–214.
- Li, S., Bonneu, F., Chadoeuf, J., Picart, D., Gégout-Petit, A., & Guérin-Dubrana, L. (2017). Spatial and temporal pattern analyses of esca grapevine disease in vineyards in france. *Phytopathology*, 107(1), 59–69.
- Lipatova, N., Mamai, O., Mamai, I., Gazizyanova, Y. Y., & Galenko, N. (2021). Agricultural

- cooperation as a factor in sustainable rural development. In *Iop conference series : Earth and environmental science* (Vol. 745, p. 012018).
- Livat, F., Alston, J. M., & Cardebat, J.-M. (2019). Do denominations of origin provide useful quality signals? the case of bordeaux wines. *Economic Modelling*, *81*, 518–532.
- Lobell, D. B., Field, C. B., Cahill, K. N., & Bonfils, C. (2006). Impacts of future climate change on california perennial crop yields : Model projections with climate and crop uncertainties. *Agricultural and Forest Meteorology*, *141*(2-4), 208–218.
- Lotspeich, S. C., Grosser, K. F., & Garcia, T. P. (2022). Correcting conditional mean imputation for censored covariates and improving usability. *Biometrical Journal*.
- Madhu, B., Ashok, N., & Balasubramanian, S. (2014). A multinomial logistic regression analysis to study the influence of residence and socio-economic status on breast cancer incidences in southern karnataka. *Int. J. Math. Stat. Invention*, *2*(5), 01–8.
- Mahé, H., Riou, C., Longepierre, P., Imberti, M.-H., Mahé, L., & Prêtet-Lataste, C. (2019). A tool for technical and economic evaluation of dieback in wine-growing holdings. In *Bio web of conferences* (Vol. 15, p. 03005).
- Manion, P. D. (2003). Evolution of concepts in forest pathology. *Phytopathology*, *93*(8), 1052–1055.
- Manohar, P. (2022). The impact of weather shocks on crop yields : Evidence from india. *Agricultural and Resource Economics Review*, *51*(3), 499–516.
- Marco-Lajara, B., Seva-Larrosa, P., Martínez-Falcó, J., & Sánchez-García, E. (2021). How has covid-19 affected the spanish wine industry? an exploratory analysis. *NVEO-NATURAL VOLATILES & ESSENTIAL OILS Journal/ NVEO*, 2722–2731.
- Masset, P., & Henderson, C. (2010). Wine as an alternative asset class. *Journal of Wine Economics*, *5*(1), 87–118.
- Mekonnen, Y., & Agonafir, T. (2002). Pesticide sprayers' knowledge, attitude and practice of pesticide use on agricultural farms of ethiopia. *Occupational Medicine*, *52*(6), 311–315.
- Mendola, M. (2007). Agricultural technology adoption and poverty reduction : A propensity-score matching analysis for rural bangladesh. *Food policy*, *32*(3), 372–393.
- Merot, A., Coulouma, G., Smits, N., Robelot, E., Gary, C., Guerin-Dubrana, L., ... Fermaud, M. (2023). A systemic approach to grapevine decline diagnosed using three key indicators :

- plant mortality, yield loss and vigour decrease. *OENO One*, 57(1), 133–149.
- Miller, A. J., & Gross, B. L. (2011). From forest to field : perennial fruit crop domestication. *American journal of botany*, 98(9), 1389–1414.
- Mishra, A. K., & Tsionas, M. G. (2020). A minimax regret approach to decision making under uncertainty. *Journal of Agricultural Economics*, 71(3), 698–718.
- Mishra, S. P., Sarkar, U., Taraphder, S., Datta, S., Swain, D., Saikhom, R., ... Laishram, M. (2017). Multivariate statistical data analysis-principal component analysis (pca). *International Journal of Livestock Research*, 7(5), 60–78.
- Mondello, V., Larignon, P., Armengol Fortí, J., Kortekamp, A., Váczy, K., Prezman, F., ... Fontaine, F. (2018). Management of grapevine trunk diseases : knowledge transfer, current strategies and innovative strategies adopted in europe. *Phytopathologia Mediterranea*, 57(3), 369–383.
- Mondello, V., Songy, A., Battiston, E., Pinto, C., Coppin, C., Trotel-Aziz, P., ... Fontaine, F. (2018). Grapevine trunk diseases : a review of fifteen years of trials for their control with chemicals and biocontrol agents. *Plant Disease*, 102(7), 1189–1217.
- Montaigne, É., Coelho, A., Delord, B., Khefifi, L., et al. (2012). Etude sur les impacts socio-économiques et territoriaux de la libéralisation des droits de plantations viticoles. In *Tome 1. convention d'étude arev et umr moisa, montpellier, france*.
- Moore, J., Woods, M., Ellis, A., & Moran, B. (2017). 2016 aerial survey results : California. *US Forest Service, Pacific Southwest Region, Technical Report R5-PR-034. Davis, CA*.
- Morrison, A., & Rabellotti, R. (2017). Gradual catch up and enduring leadership in the global wine industry. *Research Policy*, 46(2), 417–430.
- Mounter, S. W., Griffith, G. R., Piggott, R. R., Fleming, E. M., & Zhao, X. (2008). *An equilibrium displacement model of the australian sheep and wool industries* (Rapport technique).
- Mueller-Dombois, D. (1987). Natural dieback in forests. *BioScience*, 37(8), 575–583.
- Muzeau, J., Oliver-Parera, M., Ladret, P., & Bertolino, P. (2020). Combining mixture models and spectral clustering for data partitioning. In *Image analysis and recognition : 17th international conference, icar 2020, póvoa de varzim, portugal, june 24–26, 2020, proceedings, part ii 17* (pp. 63–75).
- Nemani, R. R., White, M. A., Cayan, D. R., Jones, G. V., Running, S. W., Coughlan, J. C., &

- Peterson, D. L. (2001). Asymmetric warming over coastal california and its impact on the premium wine industry. *Climate research*, 19(1), 25–34.
- Neumann, J. v., & Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behavior*.-princeton : Princeton univ. press.
- Norton, G. (1976). Analysis of decision making in crop protection. *Agro-ecosystems*, 3, 27–44.
- Norton, G., & Conway, G. (1977). economic and social context of pest, disease and weed problems. In *Symposium of the british ecological society*.
- Océan. (2019). *Océan, c.-a. d'expertise comptable-c. g.* <https://www.cgocean.com/cgocean/Blog-CGO/Chiffres-cles>. (blog CGO : Chiffres clés. CGO - Comptabilité Gestion Océan.)
- OIV. (2016). *Grapevine trunk diseases. a review.* <https://www.oiv.int/public/medias/4650/trunk-diseases-oiv-2016.pdf>. (OIV publications)
- OIV. (2022). *Note de conjoncture vitivinicole mondiale 2021 avril.* <https://www.oiv.int/public/medias/8786/note-de-conjoncture-avril-2022-fr.pdf>. (Note de conjoncture vitivinicole mondiale 2021 avril)
- OIV. (2023). *State of the world vine and wine sector in avril 2022.* [https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/OIV\\_State\\_of\\_the\\_world\\_Vine\\_and\\_Wine\\_sector\\_in\\_2022\\_2.pdf](https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/OIV_State_of_the_world_Vine_and_Wine_sector_in_2022_2.pdf). (State of the world vine and wine sector in avril 2022)
- Olivesi, S. (2022). La production de vin en france : modèles économiques et dynamiques marchandes. *Estudios Sociales Contemporáneos*(27), 24–42.
- Olivieri, A. C. (2008). Analytical advantages of multivariate data processing. one, two, three, infinity? *Analytical Chemistry*, 80(15), 5713–5720.
- Ollat, N., Touzard, J.-M., & van Leeuwen, C. (2016). Climate change impacts and adaptations : new challenges for the wine industry. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 139–149.
- ONF. (2019). *Dépérissement forestier : quand les arbres tombent malades.* <https://www.onf.fr/onf/+7e6::deperissement-forestier-quand-les-arbres-tombent-malades.html>. (Office National des Forêts Française)
- Onivins. (s. d.). *Droit de plantation de vigne.* <https://www.onivins.fr/droits-de-plantation-des-vignes/>.
- Outreville, J.-F., & Le Fur, E. (2020). Hedonic price functions and wine price determinants :

- A review of empirical research. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization*, 18(2).
- ÖZEN, D., KOCAKAYA, A., & Ozbeyaz, C. (2021). Estimating relationship between live body weight and type traits at weaning and six months of age in bafra lambs using canonical correlation analysis. *JOURNAL OF ANIMAL AND PLANT SCIENCES-JAPS*, 31(2).
- Pailler, J., & Corade, N. (2004). Gestion des domaines viticoles : une approche technico-économique pour mieux évaluer les nouvelles pratiques. In *Actes du colloque vds*.
- Pažek, K., & Rozman, Č. (2009). Decision making under conditions of uncertainty in agriculture : a case study of oil crops. *Poljoprivreda*, 15(1), 45–50.
- Pham, N.-K., Morin, A., & Gros, P. (2009). Accelerating image retrieval using factorial correspondence analysis on gpu. In *International conference on computer analysis of images and patterns* (pp. 565–572).
- Piggott, R. R., Piggott, N. E., & Wright, V. E. (1995). Approximating farm-level returns to incremental advertising expenditure : Methods and an application to the Australian meat industry. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(3), 497–511.
- PNDV. (2016). *Le plan*. <https://www.plan-deperissement-vigne.fr/le-plan>.
- PNDV. (2020). *Dernières avancées sur les dépérissements de la vigne*. <https://www.plan-deperissement-vigne.fr/dernieres-avancees-sur-les-deperissements-de-la-vigne>. (Les cahiers du pôle technique et qualité)
- Pochard-Casabianca, P. (2022). *Forêts françaises : quel avenir face au changement climatique ?* <https://www.vie-publique.fr/eclairage/286488-forets-francaises-quel-avenir-face-au-changement-climatique>. (Vie publique)
- Porter, M. E. (1997). Competitive strategy. *Measuring business excellence*, 1(2), 12–17.
- Powers, J. S., Vargas G, G., Brodribb, T. J., Schwartz, N. B., Pérez-Aviles, D., Smith-Martin, C. M., ... others (2020). A catastrophic tropical drought kills hydraulically vulnerable tree species. *Global Change Biology*, 26(5), 3122–3133.
- Prigent, F. (2004). La complantation, maintenir son patrimoine viticole. *Chambre d'agriculture, AUDE*, 1–4.
- Projet Longvi, P. (2020). *Comprendre et améliorer la longévité au vignoble*. <https://www.plan-deperissement-vigne.fr/recherches/programmes-de-recherche/longvi>. (Cours M2-CEE)

- Préfecture. (2023). *Agriculture, viticulture, forêt—actions de l'État—les services de l'État en gironde*. <https://www.gironde.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Agriculture-viticulture-foret/Agriculture/ARRETES-PREFECTORAUX>. (Arrêtés préfectoraux.)
- Pupion, P.-C. (2012). *Statistiques pour la gestion-3e édition : Applications avec excel, spss, amos et smartpls*. Dunod.
- Quéré, C., Sermier, J.-M., et al. (2015). *Rapport d'information sur les maladies de la vigne et du bois*. Assemblée nationale.
- Quinlan, J. R. (1993). Program for machine learning. *C4*. 5.
- Quéré, C., & Sermier, J.-M. (2015). Rapport d'information sur les maladies et la vigne et du bois. *Assemblée Nationale. Rapport d'informations*.
- Ramli, R., & Tein, L. H. (2017). Maximax & maximin and 2fblockwise operators : Enhancement in the evolutionary algorithm for a nurse scheduling problem. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 9(1-2), 1–6.
- Ramsey, F. P. (1931). General propositions and causality.
- Reardon, T., Taylor, J. E., Stamoulis, K., Lanjouw, P., & Balisacan, A. (2000). Effects of non-farm employment on rural income inequality in developing countries : an investment perspective. *Journal of agricultural economics*, 51(2), 266–288.
- Rego, C., Nascimento, T., Cabral, A., & Oliveira, H. (2006). Fungi associated with young vine decline in portugal : results of nine years surveys. *IOBC wprs Bulletin*, 29(11), 123.
- Reynier, A. (2011). *Manuel de viticulture : guide technique du viticulteur*. Lavoisier.
- Riaman, R., Sukono, S., Supian, S., & Ismail, N. (2021). Analysing the decision making for agricultural risk assessment : An application of extreme value theory. *Decision Science Letters*, 10(3), 351–360.
- Ridgway, H. J., Baskarathevan, J., Amponsah, N. T., Jaspers, M. V., & Jones, E. E. (2014). The identity, distribution and diversity of botryosphaeriaceous species in new zealand vineyards—a national perspective.
- Ringné, M. (2008). What is principal component analysis? *Nature biotechnology*, 26(3), 303–304.
- Riou, C., Agostini, D., Aigrain, P., Barthe, M., des Robert, M.-L., Gervais, J.-P., ... Prêtet-Latoste, C. (2016). Action plan against declining vineyards : An innovative approach. In

*Bio web of conferences* (Vol. 7, p. 01040).

- Robinson, J. (2015). *The oxford companion to wine*. American Chemical Society.
- Roby, J., Renouf, V., & Van Leeuwen, C. (2008). Les porte-greffes des crus prestigieux de bordeaux : incidence sur la qualité et la quantité de récolte rootstocks of prestigious bordeaux vineyards : implications on quality and yield.
- Roby, J. P., Van Leeuwen, C., & Marguerit, E. E. (2008). *Références vigne, références technico-économiques de systèmes de conduite de la vigne* (N° 2. ed.). Editions Lavoisier.
- Romanazzi, G., Murolo, S., Pizzichini, L., & Nardi, S. (2009). Esca in young and mature vineyards, and molecular diagnosis of the associated fungi. *European Journal of Plant Pathology*, 125, 277–290.
- Rose, S., Ashfaq, M., Hassan, S., & Ali, G. (2018). A nexus between malaria and agricultural output through the channels of gender, sanitation, and socio-economic status. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(1).
- Rubio, J., & Garzón, E. (2011). Las enfermedades de madera de vid como amenaza del sector vitícola. *Rev. Winetech*, 2, 18–21.
- Ruxton, G., & Beauchamp, G. (2008). Some suggestions about appropriate use of the kruskal-wallis test. *Animal behaviour*, 76(3), 1083–1087.
- Sadras, V., Bubner, R., & Moran, M. (2012). A large-scale, open-top system to increase temperature in realistic vineyard conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 154, 187–194.
- Salvati, L., & Zitti, M. (2009). The environmental “risky” region : identifying land degradation processes through integration of socio-economic and ecological indicators in a multivariate regionalization model. *Environmental Management*, 44, 888–898.
- Salvatore, L., Natalia, D., & Giulia, P. (2019). Multiple correspondence analysis (mca) for the evaluation of risk perception of roundabouts for young people. *European Transport\Trasporti Europei*, 72(4).
- Sanfo, S., Barbier, B., & Zangre, A. (2017). Horticultural production in burkina faso : A comprehensive socio-economic analysis. *Irrigation and Drainage*, 66(5), 828–841.
- Şanin, A. (2008). Profit maximization of cattle fattening breed based on characteristics of producers : an application of game theory. *Journal of Animal and Veterinary Advances*,

7(10).

- Sanning, L. W., Shaffer, S., & Sharratt, J. M. (2008). Bordeaux wine as a financial investment. *Journal of Wine Economics*, 3(1), 51–71.
- Santos, C., Fragoeiro, S., Oliveira, H., & Phillips, A. (2006). Response of *vitis vinifera* l. plants inoculated with *phaeoacremonium angustius* and *phaeomoniella chlamydospora* to thiabendazole, resveratrol and sodium arsenite. *Scientia horticultrae*, 107(2), 131–136.
- Saunier, P. (2000). Hedonic price equations for wine. how can we interpret the results?
- Savage, L. J. (1951). The theory of statistical decision. *Journal of the American Statistical association*, 46(253), 55–67.
- Savage, L. J. (1954). The foundations of statistics ; jon wiley and sons. Inc. : New York, NY, USA.
- Schnee, S. (2008). *Facteurs de résistance à l'oïdium (erysiphe necator schwein.) chez la vigne (vitis vinifera l.)* (Thèse de doctorat non publiée). Université de Neuchâtel.
- Schrieke, T., Botzen, W. W., Wens, M., Haer, T., & Aerts, J. C. (2021). Integrating behavioral theories in agent-based models for agricultural drought risk assessments. *Frontiers in Water*, 3, 686329.
- Schultz, H. R. (2016). Global climate change, sustainability, and some challenges for grape and wine production. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 181–200.
- Setyowati, P. B., Toiba, H., Sujarwo, S., Syafrial, S., & Nugroho, C. P. (2021). Game theory application in decision making of horticulture farming. *Agricultural Socio-Economics Journal*, 21(1), 59–64.
- Shang, G.-Y., & Yang, X. (2021). Impacts of policy cognition on low-carbon agricultural technology adoption of farmers. *Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology*, 32(4), 1373–1382.
- Sheng, Y., Liu, J., Wei, D., & Song, X. (2021). Heterogeneous study of multiple disturbance factors outside residential electricity consumption : A case study of beijing. *Sustainability*, 13(6), 3335.
- SICAVAC. (2018). Matériel de curetage. *Les fiches techniques*, 1–4.
- Siebert, J. (2001). Eutypa : the economic toll on vineyards. *Wines Vines*, 82, 50–56.
- Silva, E., Marta-Costa, A. A., & Berbel, J. (2015). The objectives and priorities for the azorean

- dairy farmers' decisions. In *The agricultural economics of the 21st century* (pp. 137–156). Springer.
- Silva, M. D. B., de Oliveira, R. d. V. C., da Silveira Barroso Alves, D., & Melo, E. C. P. (2021). Predicting risk of early discontinuation of exclusive breastfeeding at a brazilian referral hospital for high-risk neonates and infants : a decision-tree analysis. *International breastfeeding journal*, 16(1), 1–13.
- Simbi, T., & Aliber, M. (2000). *Agricultural employment crisis in south africa*. Citeseer.
- Smart, R. (2015). Trunk diseases : Timely trunk renewal to overcome trunk disease. *Wine & Viticulture Journal*, 30(5).
- Solé, C., Sordè i Martí, T., Serradell Pumareda, O., Alcalde, R., Flecha Fernandez Sanmamed, A., Petroff, A., ... others (2011). Cohesión social e inmigración. aportaciones científicas y discursos políticos. *Revista Internacional de Sociología*, 69(1), 0009–32.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Averyt, K., & Marquis, M. (2007). *Climate change 2007-the physical science basis : Working group i contribution to the fourth assessment report of the ipcc* (Vol. 4). Cambridge university press.
- Stef, C. (2017). Esca : Le mode d'action de l'arsenite décrypté. *La Vigne*(294), 34–35.
- Synák, F. (2023). Problems and opportunities within the wine industry in terms of the covid-19 pandemic. *Agriculture*, 13(3), 731.
- Tada, M., Suzuki, N., & Okada, Y. (2022). Missing value imputation method for multiclass matrix data based on closed itemset. *Entropy*, 24(2), 286.
- Tamasiga, P., Guta, A. T., Onyeaka, H., & Kalane, M. S. (2022). The impact of socio-economic indicators on covid-19 : an empirical multivariate analysis of sub-saharan african countries. *Journal of Social and Economic Development*, 1–18.
- Techniloire. (2015). Réussir et optimiser sa complantation. *Techniloire*, 1–2.
- Tevenart, C., & Brunette, M. (2021). Role of farmers' risk and ambiguity preferences on fertilization decisions : An experiment. *Sustainability*, 13(17), 9802.
- Thibault. (2015). Le curetage. *Journées nationales sur les maladies du bois, Colmar*, 1–3.
- Thorpe, M. (2009). The globalisation of the wine industry : new world, old world and china. *China Agricultural Economic Review*, 1(3), 301–313.
- Timofeev, R. (2004). Classification and regression trees (cart) theory and applications. *Humboldt*

*University, Berlin, 54.*

- Touzard, J.-M. (2011). Les caves coopératives dans la transformation du vignoble languedocien. *Etudes Héraultaises, hors série*, 101–111.
- Ugaglia, A. A., Niklas, B., Rinke, W., Moscovici, D., Gow, J., Valenzuela, L., & Mihailescu, R. (2021). Consumer preferences for certified wines in france : A comparison of sustainable labels. *Wine Economics and Policy*, 10(2), 75–86.
- Ur Rahman, I., Jian, D., Junrong, L., & Shafi, M. (2021). Socio-economic status, resilience, and vulnerability of households under covid-19 : Case of village-level data in sichuan province. *PLoS One*, 16(4), e0249270.
- Valette-Florence, P. (1988). Spécificités et apports des méthodes d'analyse multivariée de la deuxième génération. *Recherche et Applications en Marketing (French Edition)*, 3(4), 23–56.
- Van De, N., Douglas, I., McMorrow, J., Lindley, S., THUY BINH, D. K. N., Van, T. T., ... Tho, N. (2008). Erosion and nutrient loss on sloping land under intense cultivation in southern vietnam. *Geographical Research*, 46(1), 4–16.
- Van Leeuwen, C., & Darriet, P. (2016). The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 150–167.
- Van Leeuwen, C., & Destrac-Irvine, A. (2017). Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *Oeno One*, 51(2-3), 147–154.
- Van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., ... Ollat, N. (2019). An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. *Agronomy*, 9(9), 514.
- Van Leeuwen, C., Schultz, H. R., Garcia de Cortazar-Atauri, I., Duchêne, E., Ollat, N., Pieri, P., ... others (2013). Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(33), E3051–E3052.
- van Mantgem, P. J., Stephenson, N. L., Keifer, M., & Keeley, J. (2004). Effects of an introduced pathogen and fire exclusion on the demography of sugar pine. *Ecological Applications*, 14(5), 1590–1602.
- Viniphile. (2023). *Appellations de bordeaux*. <https://www.viniphile.fr/content/67>

-appellations-de-bordeaux.

- vinopole. (2014). *La compétitivité des entreprises viticoles commence par le maintien du potentiel de production à la vigne*. [https://www.vinopole-cvdl.com/fileadmin/fichiers/competitivite\\_entreprise\\_viti.pdf](https://www.vinopole-cvdl.com/fileadmin/fichiers/competitivite_entreprise_viti.pdf).
- Wald, A. (1950). Statistical decision functions.
- Wang, J., Wu, Z., Wu, C., Cao, Z., Fan, W., & Tarolli, P. (2018). Improving impervious surface estimation : an integrated method of classification and regression trees (cart) and linear spectral mixture analysis (lsma) based on error analysis. *Giscience & Remote Sensing*, 55(4), 583–603.
- Webber, J., et al. (2010). Pest risk analysis and invasion pathways for plant pathogens. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 40(Suppl).
- Webster, J. (1977). The analysis of risky farm management decisions : advising farmers about the use of pesticides. *Journal of Agricultural Economics*, 28(3), 243–259.
- Webzine. (2019). *Parole d'expert - 5 questions à sophie trouvelot sur le projet holoviti*. <https://www.plan-deperissement-vigne.fr/webzine/parole-dexpert/5-questions-sophie-trouvelot-sur-le-projet-holoviti>. (Article webzine du 3 Septembre 2019)
- Weil, R. (1993). Do not invest in wine, at least in the us unless you plan to drink it, and maybe not even then. In *2nd international conference of the vineyard data quantification society, verona, february*.
- White, M. A., Diffenbaugh, N., Jones, G. V., Pal, J., & Giorgi, F. (2006). Extreme heat reduces and shifts united states premium wine production in the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(30), 11217–11222.
- Winetwork. (2018). *Les bonnes pratiques de taille*. [https://www.plan-deperissement-vigne.fr/sites/default/files/2018-06/Winetwork-%20les%20bonnes%20pratiques%20de%20taille\\_0.pdf](https://www.plan-deperissement-vigne.fr/sites/default/files/2018-06/Winetwork-%20les%20bonnes%20pratiques%20de%20taille_0.pdf). (Fiche technique)
- Winetwork. (2021). *Le curetage : Une pratique appliquée au vignoble pour limiter l'expression des symptômes des maladies du bois*. [https://www.vignevin.com/wp-content/uploads/2021/02/Fiche\\_Curetage.pdf](https://www.vignevin.com/wp-content/uploads/2021/02/Fiche_Curetage.pdf). (Fiche technique)
- Winkler, A. J. (1974). *General viticulture*. Univ of California Press.
- Wittwer, G., & Anderson, K. (2021). Covid-19's impact on australian wine markets and regions.

- Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 65(4), 822–847.
- Wooldridge, J. M. (2002). Econometric analysis of cross section and panel data. In (p. 504-509). The MIT Press.
- Yakete-Wetonoubena, J.-C. P., & Mbetid-Bessane, E. (2019). Éducation, un déterminant de la productivité agricole en république centrafricaine. *Afrique Science*, 15(4), 51–59.
- Yeo, M., Fletcher, T., & Shawe-Taylor, J. (2015). Machine learning in fine wine price prediction. *Journal of Wine Economics*, 10(2), 151–172.
- Zahraee, S. M., Shiwakoti, N., & Stasinopoulos, P. (2020). Biomass supply chain environmental and socio-economic analysis : 40-years comprehensive review of methods, decision issues, sustainability challenges, and the way forward. *Biomass and Bioenergy*, 142, 105777.
- Zarei, M., Najarchi, M., & Mastouri, R. (2021). Bias correction of global ensemble precipitation forecasts by random forest method. *Earth Science Informatics*, 14(2), 677–689.
- Zhao, F., Gong, W., Ren, T., Chen, J., Tang, H., & Li, T. (2022). Permafrost stability mapping on the tibetan plateau by integrating time-series insar and random forest method. *The Cryosphere Discussions*, 1–25.
- Zhao, X., Mullen, J. D., Griffith, G. R., Griffiths, W. E., & Piggott, R. R. (2000). *An equilibrium displacement model of the australian beef industry* (Rapport technique).
- Zhu, X., Wang, J., Sun, B., Ren, C., Yang, T., & Ding, J. (2021). An efficient ensemble method for missing value imputation in microarray gene expression data. *BMC bioinformatics*, 22(1), 1–25.
- Zossou, E., Arouna, A., Diagne, A., & Agboh-Noameshie, R. A. (2020). Learning agriculture in rural areas : the drivers of knowledge acquisition and farming practices by rice farmers in west africa. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 26(3), 291–306.

ANNEXE



---

## Annexes Chapitre 4



## A.1 Questionnaire réduit

### Questionnaire réduit Dépérissement du vignoble

1. Dans quel bassin viticole se situe votre exploitation ?

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Alsace – Est                           | <input type="checkbox"/> Languedoc – Roussillon |
| <input type="checkbox"/> Bordeaux – Aquitaine                   | <input type="checkbox"/> Provence               |
| <input type="checkbox"/> Bourgogne – Beaujolais – Jura – Savoie | <input type="checkbox"/> Sud-Ouest              |
| <input type="checkbox"/> Champagne                              | <input type="checkbox"/> Val de Loire – Centre  |
| <input type="checkbox"/> Charentes – Cognac                     | <input type="checkbox"/> Vallée du Rhône        |
| <input type="checkbox"/> Corse                                  |   |

→ Question à choix unique via case à cocher

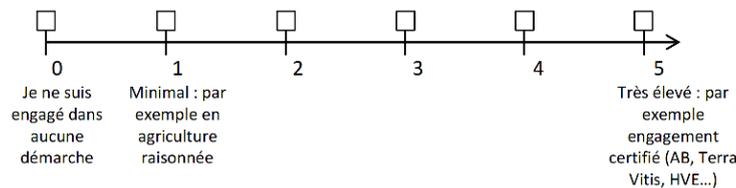
2. Quelle est la surface de votre exploitation ? \_\_\_\_\_ hectares

→ Champ numérique décimal compris entre 0,1 et 500

3. Apportez-vous plus de la moitié de votre récolte en cave coopérative ?  Oui  Non

→ Question à choix unique via case à cocher

4. Pour la conduite de votre vigne, quel est votre niveau d'exigence environnemental ?



→ Question à choix unique via case à cocher

5. Sur combien de mois s'étale la période de taille ?

- 1 mois     2 mois     3 mois     4 mois     Plus de 4 mois

→ Echelle/Niveau à remplir sur un calendrier frise

6. [Si non coopérateur] Depuis (année courante -5 ans), comment votre stock de vins a-t-il évolué ?

- Plutôt augmenté  
 Plutôt baissé  
 Est resté stable

7. Quel est le mode de faire-valoir principal de votre exploitation ?

- Propriétaire       Locataire

→ Question à choix unique via case à cocher

Dans la suite du questionnaire, nous allons vous demander de décrire une parcelle type de votre exploitation, c'est-à-dire à l'image de votre vignoble et qui peut servir de référence pour le décrire. Veuillez à choisir une parcelle qui ne soit pas trop jeune afin de ne pas fausser l'analyse par ce critère.

8. Quelle est la surface de votre parcelle ? \_\_\_\_\_ hectares

→ Champ numérique décimal compris entre 0,1 et 10

9. Quelle est la densité de plantation sur cette parcelle ? \_\_\_\_\_ pieds/ha  
→ *Champ numérique entier compris entre 2000 et 15000*
10. En quelle année a-t-elle été plantée ? \_ \_ \_ \_  
→ *Champ numérique entier entre 1800 et (année actuelle - 3)*
11. Quel est le taux de ceps improductifs (manquants, complants de moins de 3 ans) ? \_\_\_\_ %  
→ *Champ numérique décimal entre 0 et 50*
12. Pendant combien d'années prévoyez-vous de continuer à exploiter la parcelle avant de procéder à un arrachage ? \_\_\_\_\_ ans supplémentaires  
→ *Champ numérique entier entre 0 et 150*
13. Pour atteindre cet âge de la parcelle, mettez-vous en place des pratiques spécifiques :
- Soins spécifiques à la plantation de la vigne
  - Techniques de taille de la vigne
  - Modification de l'objectif de rendement
  - Complantation
  - Autre (curetage, greffage ...)
  - Aucune de ces actions
- *Question à choix multiple (excepté « aucun » qui s'il est sélectionné doit être seul)*
14. Combien de pieds sont morts cette année sur la parcelle, environ ? \_\_\_\_\_ pieds  
→ *Champ numérique entier entre 0 et 2500*
15. Quel est votre objectif de rendement ? \_\_\_\_ hL/ha  
→ *Champ numérique entier entre 10 et 200*
16. En moyenne ces 5 dernières années, quel rendement avez-vous effectivement obtenu ? \_\_\_\_ hL/ha  
→ *Champ numérique entier entre 0 et 200*

Quelques questions supplémentaires afin de mieux connaître votre exploitation et de mieux vous situer face au risque de dépérissement.

17. Quelle a été l'évolution de votre marge (brute ou nette) depuis 2010 ?
- Hausse
  - Baisse
  - Stable
- *Question à choix unique via case à cocher*
18. Quel est votre taux d'endettement ?  
*Celui-ci se calcule en faisant le rapport entre vos remboursements bancaires annuels (court et long terme) et le chiffre d'affaires de votre dernier exercice comptable.*
- < 5 %
  - Entre 5 et 10 %
  - Entre 10 et 15 %
  - > 15 %
- *Question à choix unique via case à cocher*

19. Quel était le montant approximatif de vos dépenses sur chacun de ces postes lors du dernier exercice comptable ?

- Produits phytosanitaires : \_\_\_\_\_ €
- Matériel végétal (plants ou complants, hors nouvelles parcelles) : \_\_\_\_\_ €
- Main d'œuvre viticole ou vinicole (salariés, formation, en propre ou prestataire) : \_\_\_\_\_ €

→ *Champ numérique décimal*

20. Quel est le niveau de votre diplôme le plus élevé ?

- Brevet, BEP, CAP
- Bac ou bac pro
- BTS, licence
- Master, ingénieur

→ *Choix unique via case à cocher*

## A.1.1 Dictionnaire des variables

TABLE A.1 – Dictionnaire des variables

no	variable	question	unité
1	bassin_viti	Dans quel bassin viticole se situe votre exploitation	catégorielles : 15 modalités
3	surface_exploi	Quelle est la surface de votre exploitation	ha
4	recolte	Apportez-vous plus de la moitié de votre récolte en cave coopérative	catégorielle : 2 modalités
6	niveau_env	Pour la conduite de votre vigne, quel est votre niveau d'exigence environnemental	catégorielle : 6 modalités
7	per_taille	Sur combien de mois s'étale la période de taille	mois
8	stock14	Depuis 2014, comment votre stock de vins a-t-il évolué	catégorielle : 3 modalités
9	faire_valoir	Quel est le mode de faire-valoir principal de votre exploitation	catégorielle : 2 modalités
11	surface_parcel	Quelle est la surface de votre parcelle	ha
12	densite_plant	Quelle est la densité de plantation sur cette parcelle	pieds/ha
13	annee_plant	En quelle année a-t-elle été plantée	année
14	cep_impro	Quel est le taux de ceps improductifs (manquants, complants de moins de 3 ans)	%
15	annee_arra	Pendant combien d'années prévoyez-vous de continuer à exploiter la parcelle avant de procéder à un arrachage	ans supplémentaires
16	soin_plant	Pour atteindre cet âge de la parcelle, mettez-vous en place des pratiques spécifiques	catégorielle : 4 modalités
17	ped_mort	Combien de pieds sont morts cette année sur la parcelle, environ	pieds
18	obj_rend	Quel est votre objectif de rendement	hL/ha
19	rend_moy5	En moyenne ces 5 dernières années, quel rendement avez-vous effectivement obtenu	hL/ha
20	evo_marge10	Quelle a été l'évolution de votre marge (brute ou nette) depuis 2010	catégorielle : 3 modalités
21	taux_dette	Quel est votre taux d'endettement	catégorielle : 4 modalités
24	pro_phyto	Quel était le montant approximatif de vos dépenses lors du dernier exercice comptable en Produits phytosanitaires	euros
24	mat_veg	Quel était le montant approximatif de vos dépenses lors du dernier exercice comptable en Matériel végétal	euros
24	main_oeuvre	Quel était le montant approximatif de vos dépenses lors du dernier exercice comptable en Main d'oeuvre viticole ou vinicole	euros
25	diplome	Quel est le niveau de votre diplôme le plus élevé	catégorielle : 3 modalités
	fonction	Quelle est votre fonction au sein du vignoble	catégorielle : 5 modalités

(i) « no » : les numéros des questions du questionnaire, (ii) « variable » : les variables extraites des questions du questionnaires et qui sont utilisées pour renommer les noms des colonnes de la base brute, (iii) « question » : les questions du questionnaire, (iv) « unité » : unité de mesure des variables.

## A.1.2 Nombre de valeurs manquantes par question

TABLE A.2 – Nombre de valeurs manquantes par question

D'après les calculs de l'auteur

question	NA
Dans quel bassin viticole se situe votre exploitation	4
Quelle est la surface de votre exploitation	7
Apportez-vous plus de la moitié de votre récolte en cave coopérative	7
Pour la conduite de votre vigne, quel est votre niveau d'exigence environnemental	11
Sur combien de mois s'étale la période de taille	14
Depuis 2014, comment votre stock de vins a-t-il évolué	69
Quel est le mode de faire-valoir principal de votre exploitation	16
Quelle est la surface de votre parcelle	21
Quelle est la densité de plantation sur cette parcelle	24
En quelle année a-t-elle été plantée	23
Quel est le taux de ceps improductifs (manquants, complants de moins de 3 ans)	28
Pendant combien d'années prévoyez-vous de continuer à exploiter la parcelle avant de procéder à un arrachage	23
Pour atteindre cet âge de la parcelle, mettez-vous en place des pratiques spécifiques	42
Combien de pieds sont morts cette année sur la parcelle, environ	23
Quel est votre objectif de rendement	27
En moyenne ces 5 dernières années, quel rendement avez-vous effectivement obtenu	29
Quelle a été l'évolution de votre marge (brute ou nette) depuis 2010	24
Quel est votre taux d'endettement	47
Quel était le montant approximatif de vos dépenses lors du dernier exercice comptable en Produits phytosanitaires	49
Quel était le montant approximatif de vos dépenses lors du dernier exercice comptable en Matériel végétal	67
Quel était le montant approximatif de vos dépenses lors du dernier exercice comptable en Main d'oeuvre viticole ou vinicole	64
Quel est le niveau de votre diplôme le plus élevé	44
Quelle est votre fonction au sein du vignoble	0

## A.2 Statistiques Descriptives de la base enquête CNIV

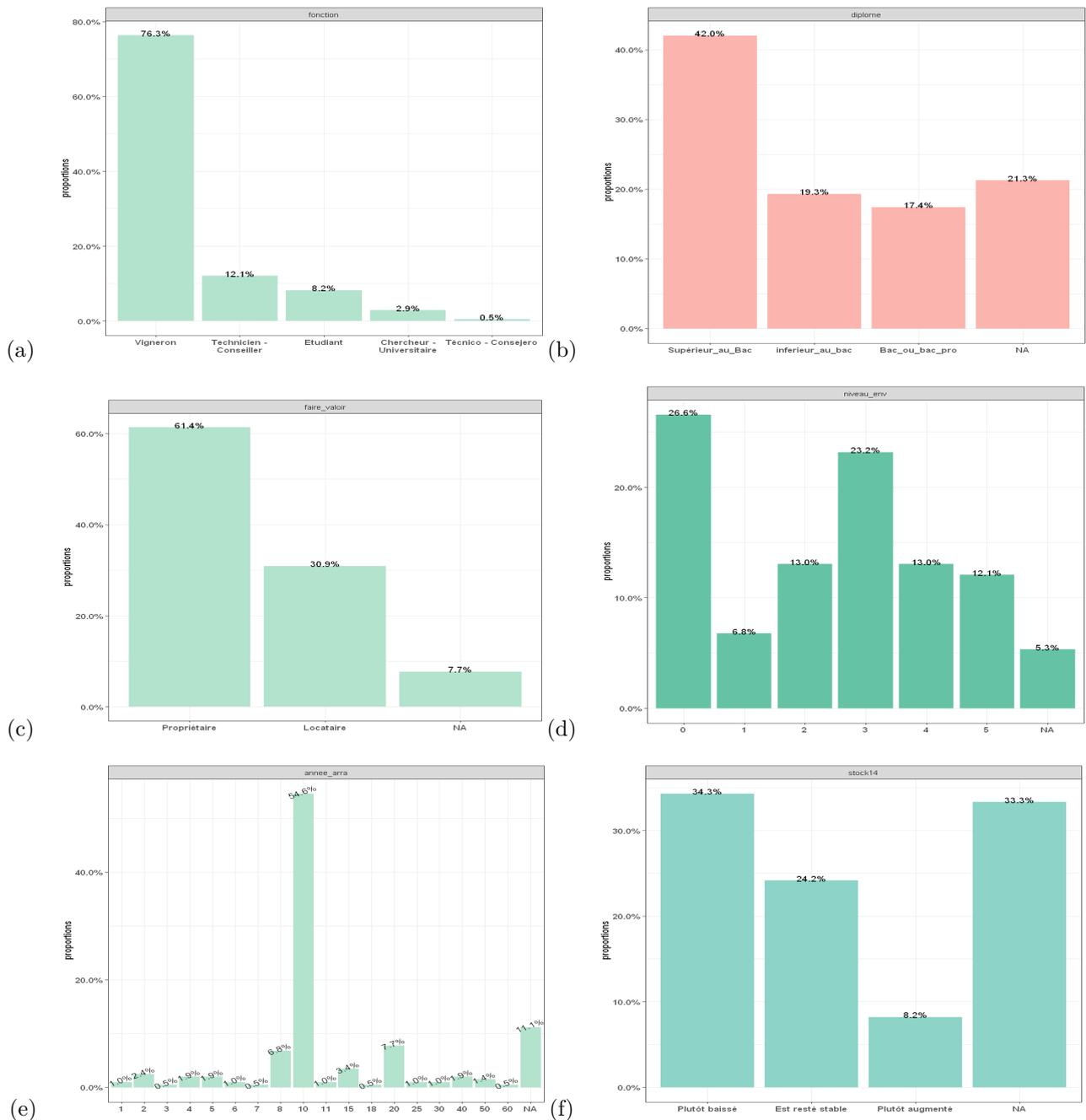


FIGURE A.2 – Histogrammes selon les réponses des exploitants.

(a) Quelle est votre fonction au sein du vignoble ? (b) Quel est le niveau de votre diplôme le plus élevé ? (c) Quel est le mode de faire-valoir principal de votre exploitation ? (d) Pour la conduite de votre vigne, quel est votre niveau d'exigence environnemental ? (e) Pendant combien d'années prévoyez-vous de continuer à exploiter la parcelle avant de procéder à un arrachage ? (f) Depuis (année courante -5 ans), comment votre stock de vins a-t-il évolué ?

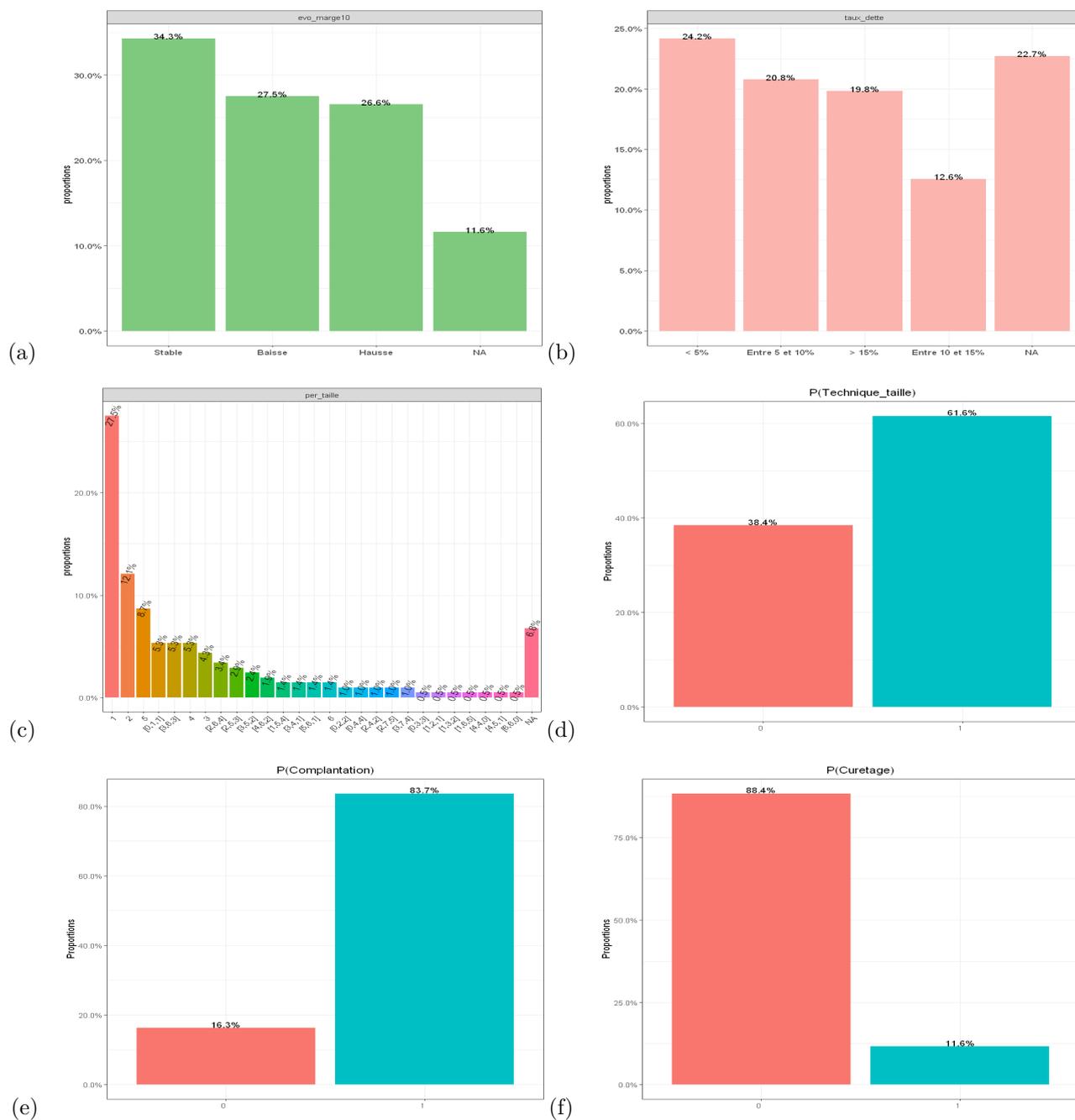


FIGURE A.3 – Histogrammes selon les réponses des exploitants.

(a) Quelle a été l'évolution de votre marge (brute ou nette) depuis 2010 ? (b) Quel est votre taux d'endettement ? (c) Sur combien de mois s'étale la période de taille ? 16. Pour atteindre cet âge de la parcelle, mettez-vous en place des pratiques spécifiques : (d) Technique de taille de vigne ? (e) Complantation ? (f) Curetage ?

## A.3 Annexe : Analyse des correspondances multiples

### A.3.1 Analyse des Correspondances multiples sans les variables de pratiques

#### A.3.1.1 Projection des modalités avec les données avec imputation

TABLE A.3 – Représentation des modalités des variables actives dans le premier plan

Modalités	Comp.1	Comp.2	COS2.1	COS2.2	CTR.1	CTR.2	VT.1	VT.2
inferieur_au_bac	0.14	-0.03	0.01	0.00	0.18	0.02	1.02	-0.25
Niveau_Bac	0.00	0.67	0.00	0.13	0.00	5.85	-0.03	4.94
Supérieur_au_Bac	-0.05	-0.26	0.00	0.08	0.07	2.10	-0.83	-3.91
evo_marge10_Baisse	0.12	0.69	0.01	0.21	0.19	8.35	1.09	6.25
evo_marge10_Hausse	0.24	-0.51	0.02	0.11	0.73	4.55	2.14	-4.59
evo_marge10_Stable	-0.27	-0.14	0.05	0.01	1.27	0.46	-3.04	-1.58
Locataire	0.21	0.25	0.02	0.03	0.61	1.20	1.99	2.40
Propriétaire	-0.10	-0.12	0.02	0.03	0.29	0.57	-1.99	-2.40
EngPeuPas	0.11	-0.35	0.01	0.07	0.18	2.56	1.11	-3.60
MoyenEng	-0.06	0.50	0.00	0.16	0.06	5.74	-0.65	5.53
TrèsEng	-0.06	-0.28	0.00	0.03	0.04	1.15	-0.50	-2.23
Non	0.14	0.05	0.04	0.01	0.57	0.12	2.83	1.10
Oui	-0.31	-0.12	0.04	0.01	1.26	0.26	-2.83	-1.10
stock14_Baisse	0.60	0.26	0.34	0.06	7.47	1.87	8.02	3.45
stock14_Est_reste_stable	-0.54	-0.03	0.18	0.00	4.79	0.02	-5.82	-0.32
stock14_Plutot_augmente	-0.65	-0.87	0.06	0.11	2.43	5.73	-3.50	-4.63
En_bas_5pourcent	-0.61	-0.09	0.19	0.00	5.48	0.15	-6.02	-0.86
Entre_10_et_15pourcent	0.39	0.09	0.04	0.00	1.23	0.08	2.58	0.57
Entre_5_et_10pourcent	0.24	-0.40	0.02	0.06	0.64	2.50	1.95	-3.32
Sup_15pourcent	0.34	0.57	0.03	0.09	1.03	3.97	2.39	4.04
Deperissant	0.33	0.73	0.02	0.08	0.63	4.26	1.79	4.00
Intermediaire	0.22	0.46	0.02	0.08	0.56	3.26	1.82	3.79
NonDeperissant	-0.17	-0.37	0.04	0.20	0.76	4.76	-2.90	-6.21
MDInf	-0.83	0.34	0.37	0.06	10.28	2.37	-8.32	3.43
MDMoyen	-0.11	-0.47	0.01	0.10	0.17	4.10	-1.06	-4.43
MDSup	0.98	0.09	0.47	0.00	13.62	0.17	9.46	0.92
MVInf	-0.91	0.51	0.45	0.14	12.51	5.31	-9.21	5.16
MVMoyen	0.02	-0.80	0.00	0.29	0.01	11.62	0.20	-7.43
MVSup	0.94	0.22	0.44	0.02	12.74	0.90	9.15	2.09
PPInf	-0.69	0.70	0.24	0.25	6.96	9.67	-6.79	6.88
PPMoyen	-0.21	-0.54	0.02	0.15	0.67	5.89	-2.11	-5.39
PPSup	0.95	-0.16	0.43	0.01	12.57	0.46	9.02	-1.49

(i) « Comp.1 - Comp.2 » : Coordonnées de la première et la deuxième dimension, (ii) « COS2.1 - COS2.2 » : Cosinus carrés de la première et deuxième dimension - permet de voir la qualité de représentation des modalités des variables, (iii) « CTR.1 - CTR.2 » : Contribution à la formation des axes de la première et deuxième dimension, (iv) « VT.1 - VT.2 » : Valeur Test de la première et deuxième dimension.

TABLE A.4 – Représentation des modalités des variables supplémentaires dans le premier plan

Modalités	Comp.1	Comp.2	COS2.1	COS2.2	VT.1	VT.2
surface <sub>explo</sub>	0.12	0.04	-	-	-	-
Alsace - Est	-1.33	0.94	0.07	0.03	-3.58	2.53
Beaujolais	-0.91	-0.43	0.09	0.02	-4.17	-1.96
Bordeaux	0.55	-0.33	0.05	0.02	3.17	-1.90
Bordeaux - Aquitaine	-0.70	-0.30	0.04	0.01	-2.82	-1.19
Bourgogne	0.71	0.22	0.12	0.01	4.72	1.45
Bourgogne - Beaujolais - Jura - Savoie	0.30	-0.42	0.01	0.01	1.17	-1.61
Charentes - Cognac	-0.57	-0.94	0.00	0.01	-0.81	-1.33
Languedoc - Roussillon	-1.47	0.85	0.08	0.03	-3.95	2.29
Provence	-0.44	-0.25	0.00	0.00	-0.89	-0.50
Val de Loire	0.68	0.55	0.09	0.06	4.02	3.30
Val de Loire - Centre	-1.00	0.69	0.04	0.02	-2.89	2.00
Vallée du Rhône	-0.36	-0.60	0.02	0.04	-1.71	-2.84
longevite_0	-0.36	1.68	0.00	0.01	-0.36	1.68
longevite_1	0.22	0.51	0.00	0.02	0.88	2.05
longevite_2	0.10	0.45	0.00	0.01	0.28	1.29
longevite_3	0.32	-0.79	0.00	0.03	0.91	-2.27
longevite_4	0.27	0.29	0.01	0.01	1.21	1.27
longevite_5	-0.07	-0.08	0.00	0.00	-0.82	-0.97
longevite_6	0.00	-0.06	0.00	0.00	-0.02	-0.41
longevite_7	-0.27	-0.15	0.01	0.00	-1.28	-0.68
rendement_0	0.32	0.91	0.01	0.05	1.10	3.10
rendement_1	0.29	0.42	0.02	0.04	2.01	2.86
rendement_2	0.60	0.76	0.01	0.02	1.36	1.73
rendement_3	-0.04	-0.15	0.00	0.00	-0.21	-0.75
rendement_4	-0.21	-0.20	0.04	0.03	-2.61	-2.45
rendement_5	0.04	-0.33	0.00	0.02	0.22	-1.90

(i) « Comp.1 - Comp.2 » : Coordonnées de la première et la deuxième dimension, (ii) « COS2.1 - COS2.2 » : Cosinus carrés de la première et deuxième dimension, (iii) « VT.1 - VT.2 » : Valeur Test de la première et deuxième dimension - permet de voir la qualité de représentation des modalités des variables supplémentaires sur le plan factoriel (significatif si  $|Valeur - test| > 1.96$ ).

## A.3.1.2 Projection des modalités avec les données sans imputation

TABLE A.5 – Représentation des modalités des variables actives dans le premier plan

Modalités	Comp.1	Comp.2	COS2.1	COS2.2	CTR.1	CTR.2	VT.1	VT.2
Niveau_Bac	0.66	0.66	0.11	0.11	4.18	4.48	2.94	2.93
Inferieur_au_bac	0.79	0.06	0.16	0.00	6.05	0.04	3.54	0.29
Supérieur_au_bac	-0.52	-0.26	0.37	0.09	7.21	1.92	-5.33	-2.65
evo_marge10_Baisse	-0.48	-0.62	0.09	0.14	2.95	5.25	-2.58	-3.31
evo_marge10_Hausse	0.12	0.37	0.01	0.08	0.22	2.46	0.76	2.43
evo_marge10_Stable	0.25	0.10	0.03	0.01	1.03	0.17	1.63	0.64
Locataire	0.56	0.52	0.17	0.14	5.08	4.68	3.58	3.31
Propriétaire	-0.30	-0.28	0.17	0.14	2.74	2.53	-3.58	-3.31
EngPeuPas	0.64	-0.49	0.16	0.09	5.24	3.24	3.44	-2.60
MoyenEng	0.10	0.56	0.01	0.19	0.19	5.94	0.71	3.81
TrèsEng	-0.61	-0.22	0.20	0.03	6.11	0.88	-3.93	-1.44
Non	0.05	-0.07	0.05	0.09	0.11	0.22	1.87	-2.56
Oui	-0.92	1.26	0.05	0.09	2.02	4.09	-1.87	2.56
stock14_Est_reste_stable	0.70	0.62	0.23	0.18	7.34	6.18	4.22	3.73
stock14_Plutot_augmente	-0.77	0.24	0.10	0.01	3.90	0.40	-2.73	0.84
stock14_Baisse	-0.22	-0.44	0.06	0.22	1.19	5.14	-2.05	-4.09
Entre_10_et_15pourcent	0.74	0.50	0.17	0.08	5.88	2.97	3.55	2.43
Entre_5_et_10pourcent	-0.77	-0.24	0.13	0.01	5.00	0.54	-3.16	-1.00
En_bas_5pourcent	-0.22	0.03	0.02	0.00	0.59	0.01	-1.15	0.15
Sup_15pourcent	0.09	-0.26	0.00	0.03	0.10	1.06	0.50	-1.53
Deperissant	0.00	0.33	0.00	0.03	0.00	1.04	0.02	1.40
Intermediaire	-0.41	-0.38	0.07	0.06	2.28	2.03	-2.28	-2.08
NonDeperissant	0.23	0.09	0.06	0.01	1.24	0.19	2.05	0.77
MDInf	-0.50	0.46	0.13	0.11	3.84	3.56	-3.08	2.86
MDMoyen	0.08	0.27	0.00	0.03	0.10	1.18	0.49	1.63
MDSup	0.42	-0.72	0.09	0.26	2.73	8.71	2.60	-4.47
MVInf	-0.35	0.33	0.06	0.06	1.96	1.86	-2.22	2.09
MVMoyen	-0.13	0.41	0.01	0.08	0.25	2.60	-0.77	2.40
MVSup	0.48	-0.72	0.12	0.26	3.63	8.64	3.00	-4.46
PPInf	-0.35	0.53	0.06	0.14	1.96	4.69	-2.20	3.28
PPMoyen	-0.50	0.32	0.12	0.05	3.84	1.62	-3.05	1.91
PPSup	0.84	-0.83	0.36	0.35	11.04	11.66	5.23	-5.18

(i) « Comp.1 - Comp.2 » : Coordonnées de la première et la deuxième dimension, (ii) « COS2.1 - COS2.2 » : Cosinus carrés de la première et deuxième dimension - permet de voir la qualité de représentation des modalités des variables, (iii) « CTR.1 - CTR.2 » : Contribution à la formation des axes de la première et deuxième dimension, (iv) « VT.1 - VT.2 » : Valeur Test de la première et deuxième dimension.

TABLE A.6 – Représentation des modalités des variables supplémentaires dans le premier plan

Modalités	Comp.1	Comp.2	COS2.1	COS2.2	VT.1	VT.2
surface <sub>emploi</sub>	0.26	-0.4	-	-	-	-
Alsace - est	-0.20	0.92	0.00	0.05	-0.41	1.88
Beaujolais	-0.79	0.30	0.04	0.01	-1.82	0.68
Bordeaux	0.13	-0.63	0.00	0.06	0.44	-2.13
Bordeaux - aquitaine	-0.22	0.19	0.00	0.00	-0.50	0.44
Bourgogne	0.48	0.00	0.07	0.00	2.23	-0.01
Bourgogne - beaujolais - jura - savoie	-0.01	0.08	0.00	0.00	-0.02	0.21
Charentes - cognac	-0.50	0.16	0.00	0.00	-0.50	0.16
Provence	-0.59	-0.03	0.01	0.00	-0.83	-0.04
Val de loire	0.14	-0.10	0.01	0.00	0.68	-0.50
Val de loire - centre	-1.01	-0.31	0.03	0.00	-1.44	-0.44
Vallée du rhône	-0.41	0.35	0.01	0.01	-1.03	0.88
rendement_0	0.22	-0.07	0.00	0.00	0.56	-0.18
rendement_1	-0.43	-0.34	0.05	0.03	-1.93	-1.50
rendement_2	0.47	-1.44	0.01	0.06	0.67	-2.05
rendement_3	-0.42	0.33	0.04	0.02	-1.63	1.30
rendement_4	0.01	0.28	0.00	0.04	0.07	1.82
rendement_5	0.82	-0.28	0.12	0.01	3.06	-1.05
longevite_1	-0.03	0.67	0.00	0.07	-0.12	2.24
longevite_2	-0.89	-0.39	0.04	0.01	-1.81	-0.79
longevite_3	-0.63	-0.12	0.02	0.00	-1.11	-0.21
longevite_4	0.51	-0.50	0.02	0.02	1.30	-1.27
longevite_5	0.10	-0.10	0.01	0.01	0.71	-0.74
longevite_6	0.36	-0.09	0.03	0.00	1.48	-0.39
longevite_7	-0.60	0.31	0.05	0.01	-1.90	0.98

(i) « Comp.1 - Comp.2 » : Coordonnées de la première et la deuxième dimension, (ii) « COS2.1 - COS2.2 » : Cosinus carrés de la première et deuxième dimension, (iii) « VT.1 - VT.2 » : Valeur Test de la première et deuxième dimension - permet de voir la qualité de représentation des modalités des variables supplémentaires sur le plan factoriel (significatif si  $|Valeur - test| > 1.96$ ).

## A.3.2 Analyse des Correspondances multiples avec les variables de pratiques

### A.3.2.1 Projection des modalités avec les données sans imputation

TABLE A.7 – Représentation des modalités des variables actives dans le premier plan

Modalités	Comp.1	Comp.2	COS2.1	COS2.2	CTR.1	CTR.2	VT.1	VT.2
Niveau_Bac	-0.33	-0.35	0.03	0.03	0.91	1.22	-1.45	-1.56
Inferieur_au_bac	-0.70	-0.42	0.13	0.05	4.17	1.72	-3.11	-1.85
Supérieur_au_bac	0.36	0.27	0.19	0.10	3.19	2.08	3.76	2.81
evo_marge10_Baisse	0.49	-0.16	0.09	0.01	2.76	0.35	2.64	-0.87
evo_marge10_Hausse	-0.17	-0.21	0.02	0.03	0.42	0.78	-1.10	-1.39
evo_marge10_Stable	-0.20	0.33	0.02	0.06	0.63	1.95	-1.35	2.20
Locataire	-0.58	0.41	0.18	0.09	4.89	2.78	-3.72	2.60
Propriétaire	0.31	-0.22	0.18	0.09	2.64	1.50	3.72	-2.60
EngPeuPas	-0.59	-0.01	0.13	0.00	3.88	0.00	-3.13	-0.03
MoyenEng	-0.12	0.19	0.01	0.02	0.23	0.64	-0.83	1.27
TrèsEng	0.59	-0.20	0.19	0.02	5.02	0.66	3.77	-1.26
Non	-0.04	-0.07	0.03	0.09	0.07	0.21	-1.59	-2.55
Oui	0.78	1.25	0.03	0.09	1.30	3.90	1.59	2.55
stock14_Est_reste_stable	-0.63	-0.10	0.19	0.00	5.33	0.15	-3.81	-0.59
stock14_Plutot_augmente	0.27	0.92	0.01	0.14	0.44	5.85	0.97	3.29
stock14_Baisse	0.31	-0.19	0.11	0.04	2.13	0.90	2.89	-1.75
Entre_10_et_15pourcent	-0.64	-0.57	0.12	0.10	3.94	3.64	-3.08	-2.74
Entre_5_et_10pourcent	0.48	0.65	0.05	0.09	1.70	3.67	1.95	2.66
En_bas_5pourcent	0.27	-0.10	0.03	0.00	0.85	0.13	1.46	-0.53
Sup_15pourcent	-0.04	0.14	0.00	0.01	0.02	0.28	-0.22	0.80
Deperissant	0.16	0.44	0.01	0.05	0.20	1.84	0.68	1.90
Intermediaire	0.36	0.17	0.05	0.01	1.49	0.38	1.96	0.92
NonDeperissant	-0.25	-0.26	0.07	0.07	1.39	1.67	-2.31	-2.34
complantation_0	0.76	0.47	0.09	0.03	3.10	1.38	2.56	1.58
complantation_1	-0.11	-0.07	0.09	0.03	0.46	0.21	-2.56	-1.58
curetage_0	-0.22	0.18	0.26	0.18	1.65	1.36	-4.42	3.72
curetage_1	1.18	-0.99	0.26	0.18	8.95	7.38	4.42	-3.72
technique_taille_0	-0.49	-0.42	0.12	0.08	3.23	2.69	-2.97	-2.51
technique_taille_1	0.24	0.20	0.12	0.08	1.55	1.29	2.97	2.51
MDInf	0.71	-0.36	0.25	0.07	6.96	2.09	4.40	-2.24
MDMoyen	-0.34	0.63	0.06	0.19	1.57	6.26	-2.07	3.83
MDSup	-0.38	-0.25	0.07	0.03	1.99	1.02	-2.35	-1.56
MVInf	0.57	-0.42	0.18	0.10	4.71	2.98	3.65	-2.70
MVMoyen	-0.15	0.85	0.01	0.32	0.29	10.68	-0.88	4.96
MVSup	-0.45	-0.34	0.11	0.06	2.88	1.91	-2.83	-2.14
PPInf	0.62	-0.58	0.20	0.17	5.40	5.48	3.87	-3.62
PPMoyen	0.19	1.02	0.02	0.50	0.51	16.34	1.18	6.19
PPSup	-0.81	-0.40	0.33	0.08	9.14	2.63	-5.04	-2.51

(i) « Comp.1 - Comp.2 » : Coordonnées de la première et la deuxième dimension, (ii) « COS2.1 - COS2.2 » : Cosinus carrés de la première et deuxième dimension - permet de voir la qualité de représentation des modalités des variables, (iii) « CTR.1 - CTR.2 » : Contribution à la formation des axes de la première et deuxième dimension, (iv) « VT.1 - VT.2 » : Valeur Test de la première et deuxième dimension.

TABLE A.8 – Représentation des modalités des variables supplémentaires dans le premier plan

Modalités	Comp.1	Comp.2	COS2.1	COS2.2	VT.1	VT.2
surface <sub>explo</sub>	-0.23	-0.08	-	-	-	-
Alsace - est	0.83	-1.61	0.04	0.14	1.69	-3.29
Beaujolais	0.66	0.10	0.03	0.00	1.51	0.23
Bordeaux	-0.14	0.11	0.00	0.00	-0.46	0.38
Bordeaux - aquitaine	0.17	0.20	0.00	0.00	0.40	0.46
Bourgogne	-0.54	0.09	0.08	0.00	-2.52	0.39
Bourgogne - beaujolais - jura - savoie	-0.09	-0.30	0.00	0.01	-0.25	-0.82
Charentes - cognac	0.33	-0.12	0.00	0.00	0.33	-0.12
Provence	0.56	-0.48	0.01	0.01	0.80	-0.68
Val de loire	-0.13	0.28	0.00	0.02	-0.61	1.34
Val de loire - centre	1.71	-1.00	0.08	0.03	2.44	-1.42
Vallée du rhône	0.19	0.42	0.00	0.01	0.48	1.06
rendement_0	0.07	-0.29	0.00	0.01	0.18	-0.73
rendement_1	0.38	0.37	0.04	0.04	1.68	1.66
rendement_2	-0.10	-0.23	0.00	0.00	-0.14	-0.32
rendement_3	0.45	0.02	0.04	0.00	1.75	0.07
rendement_4	0.00	-0.05	0.00	0.00	0.02	-0.35
rendement_5	-1.01	-0.21	0.19	0.01	-3.78	-0.79
longevite_1	0.12	0.70	0.00	0.07	0.41	2.36
longevite_2	0.62	0.21	0.02	0.00	1.26	0.42
longevite_3	0.20	0.88	0.00	0.03	0.35	1.55
longevite_4	-0.19	-0.26	0.00	0.01	-0.49	-0.65
longevite_5	-0.08	-0.07	0.00	0.00	-0.59	-0.51
longevite_6	-0.29	-0.76	0.02	0.13	-1.20	-3.14
longevite_7	0.39	0.44	0.02	0.03	1.24	1.40

(i) « Comp.1 - Comp.2 » : Coordonnées de la première et la deuxième dimension, (ii) « COS2.1 - COS2.2 » : Cosinus carrés de la première et deuxième dimension, (iii) « VT.1 - VT.2 » : Valeur Test de la première et deuxième dimension - permet de voir la qualité de représentation des modalités des variables supplémentaires sur le plan factoriel (significatif si  $|Valeur - test| > 1.96$ ).

## A.3.2.2 Projection des modalités avec les données avec imputation

TABLE A.9 – Représentation des modalités des variables actives dans le premier plan

Modalités	Comp.1	Comp.2	COS2.1	COS2.2	CTR.1	CTR.2	VT.1	VT.2
inferieur_au_bac	-0.17	-0.39	0.01	0.04	0.27	1.80	-1.23	-2.90
Niveau_Bac	-0.01	0.29	0.00	0.02	0.00	0.99	-0.06	2.14
Supérieur_au_Bac	0.07	0.04	0.01	0.00	0.12	0.05	1.09	0.65
evo_marge10_Baisse	-0.11	0.44	0.01	0.09	0.15	3.11	-0.98	4.02
evo_marge10_Hausse	-0.23	-0.21	0.02	0.02	0.70	0.68	-2.10	-1.88
evo_marge10_Stable	0.26	-0.18	0.04	0.02	1.15	0.69	2.90	-2.03
Locataire	-0.25	0.00	0.03	0.00	0.84	0.00	-2.34	0.02
Propriétaire	0.12	0.00	0.03	0.00	0.40	0.00	2.34	-0.02
EngPeuPas	-0.17	-0.62	0.02	0.21	0.44	7.10	-1.74	-6.32
MoyenEng	0.05	0.36	0.00	0.08	0.05	2.67	0.60	3.98
TrèsEng	0.16	0.31	0.01	0.03	0.26	1.31	1.25	2.51
Non	-0.11	0.20	0.03	0.09	0.38	1.46	-2.33	4.12
Oui	0.25	-0.45	0.03	0.09	0.85	3.23	2.33	-4.12
stock14_Baisse	-0.56	0.38	0.30	0.14	6.53	3.65	-7.53	5.08
stock14_Est_reste_stable	0.53	-0.16	0.17	0.02	4.47	0.50	5.64	-1.71
stock14_Plutot_augmente	0.57	-0.95	0.05	0.14	1.80	6.18	3.03	-5.07
En_bas_5pourcent	0.61	-0.03	0.19	0.00	5.40	0.02	6.00	-0.33
Entre_10_et_15pourcent	-0.36	0.04	0.03	0.00	1.05	0.01	-2.40	0.25
Entre_5_et_10pourcent	-0.27	-0.43	0.03	0.07	0.80	2.56	-2.20	-3.54
Sup_15pourcent	-0.32	0.56	0.03	0.08	0.93	3.43	-2.28	3.96
complantation_0	-0.01	0.21	0.00	0.01	0.00	0.36	-0.06	1.25
complantation_1	0.00	-0.04	0.00	0.01	0.00	0.07	0.06	-1.25
curetage_0	-0.07	-0.18	0.04	0.26	0.19	1.57	-2.70	-7.00
curetage_1	0.54	1.41	0.04	0.26	1.45	11.98	2.70	7.00
technique_taille_0	0.07	-0.49	0.00	0.15	0.07	4.79	0.73	-5.30
technique_taille_1	-0.04	0.30	0.00	0.15	0.05	2.99	-0.73	5.30
Deperissant	-0.28	0.88	0.01	0.12	0.45	5.54	-1.53	4.82
Intermediaire	-0.20	0.44	0.01	0.07	0.47	2.63	-1.68	3.59
NonDeperissant	0.15	-0.39	0.04	0.23	0.60	4.83	2.58	-6.60
MDInf	0.82	0.18	0.36	0.02	10.07	0.56	8.27	1.76
MDMoyen	0.10	-0.37	0.00	0.07	0.13	2.34	0.91	-3.53
MDSup	-0.96	0.18	0.45	0.02	12.95	0.55	-9.27	1.72
MVInf	0.93	0.34	0.47	0.06	13.06	2.19	9.46	3.50
MVMoyen	-0.06	-0.69	0.00	0.22	0.05	7.76	-0.57	-6.40
MVSup	-0.93	0.29	0.43	0.04	12.32	1.42	-9.04	2.77
PPInf	0.75	0.64	0.28	0.21	8.00	7.15	7.31	6.24
PPMoyen	0.18	-0.40	0.02	0.08	0.48	2.80	1.81	-3.92
PPSup	-0.98	-0.25	0.45	0.03	13.08	1.02	-9.24	-2.33

(i) « Comp.1 - Comp.2 » : Coordonnées de la première et la deuxième dimension, (ii) « COS2.1 - COS2.2 » : Cosinus carrés de la première et deuxième dimension - permet de voir la qualité de représentation des modalités des variables, (iii) « CTR.1 - CTR.2 » : Contribution à la formation des axes de la première et deuxième dimension, (iv) « VT.1 - VT.2 » : Valeur Test de la première et deuxième dimension.

TABLE A.10 – Représentation des modalités des variables supplémentaires dans le premier plan

Modalités	Comp.1	Comp.2	COS2.1	COS2.2	VT.1	VT.2
surface <sub>explo</sub>	-0.12	-0.01	-	-	-	-
Alsace - Est	1.48	0.87	0.08	0.03	3.97	2.34
Beaujolais	0.84	-0.74	0.08	0.06	3.85	-3.39
Bordeaux	-0.58	-0.29	0.06	0.01	-3.32	-1.64
Bordeaux - Aquitaine	0.67	-0.13	0.04	0.00	2.69	-0.54
Bourgogne	-0.72	0.18	0.12	0.01	-4.80	1.20
Bourgogne - Beaujolais - Jura - Savoie	-0.24	-0.07	0.00	0.00	-0.95	-0.28
Charentes - Cognac	0.52	-0.24	0.00	0.00	0.74	-0.34
Languedoc - Roussillon	1.46	0.07	0.08	0.00	3.92	0.19
Provence	0.41	-0.05	0.00	0.00	0.82	-0.09
Val de Loire	-0.67	0.45	0.08	0.04	-3.97	2.68
Val de Loire - Centre	1.15	1.24	0.06	0.07	3.30	3.57
Vallée du Rhône	0.36	-0.53	0.02	0.03	1.72	-2.52
longevite_0	0.28	0.88	0.00	0.00	0.28	0.88
longevite_1	-0.17	0.74	0.00	0.05	-0.70	2.99
longevite_2	-0.09	0.44	0.00	0.01	-0.25	1.26
longevite_3	-0.31	-0.36	0.00	0.01	-0.89	-1.04
longevite_4	-0.27	0.19	0.01	0.00	-1.22	0.83
longevite_5	0.05	-0.14	0.00	0.02	0.67	-1.75
longevite_6	0.00	-0.22	0.00	0.01	0.02	-1.45
longevite_7	0.29	0.19	0.01	0.00	1.36	0.91
rendement_0	-0.26	0.98	0.00	0.06	-0.88	3.34
rendement_1	-0.26	0.48	0.02	0.06	-1.81	3.33
rendement_2	-0.63	0.32	0.01	0.00	-1.42	0.73
rendement_3	0.05	0.09	0.00	0.00	0.27	0.44
rendement_4	0.20	-0.20	0.03	0.03	2.53	-2.44
rendement_5	-0.09	-0.55	0.00	0.05	-0.53	-3.21

(i) « Comp.1 - Comp.2 » : Coordonnées de la première et la deuxième dimension, (ii) « COS2.1 - COS2.2 » : Cosinus carrés de la première et deuxième dimension, (iii) « VT.1 - VT.2 » : Valeur Test de la première et deuxième dimension - permet de voir la qualité de représentation des modalités des variables supplémentaires sur le plan factoriel (significatif si  $|Valeur - test| > 1.96$ ).

## A.4 Annexe : Régression logistique ordonnée (Base enquête CNIV sans imputations)

### a) Régression logistique ordonnée sans les variables de pratiques

TABLE A.11 – Modélisation du dépérissement

	Coefficients	Estimate	Odd.Ratio	Std..Error	z.value	Pr(> z )
	0 1	-2.46	0.09	0.77	-3.20	0.00
	1 2	-0.61	0.54	0.68	-0.89	0.37
	evo_marge10Baisse	-1.01	0.36	0.71	-1.42	0.16
	evo_marge10Hausse	-2.00	0.14	0.74	-2.70	0.01 **
	niveau_envEngPeuPas	-1.02	0.36	0.72	-1.41	0.16
	niveau_envTrèsEng	-1.35	0.26	0.69	-1.96	0.05 *
	taux_detteEntre_10_et_15pourcent	-3.09	0.05	0.99	-3.11	0.00 **
	taux_detteEntre_5_et_10pourcent	-0.90	0.40	0.79	-1.15	0.25
	taux_detteEn_bas_5pourcent	0.12	1.12	0.70	0.17	0.87

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

TABLE A.12 – Modélisation du rendement

	Coefficients	Estimate	Odd.Ratio	Std..Error	z.value	Pr(> z )
	0 1	-1.30	0.27	0.73	-1.80	0.07
	1 2	0.50	1.64	0.65	0.76	0.45
	2 3	0.69	1.99	0.65	1.05	0.29
	3 4	1.37	3.94	0.66	2.07	0.04
	4 5	3.75	42.74	0.82	4.60	0.00
	evo_marge10Baisse	1.03	2.81	0.70	1.48	0.14
	evo_marge10Hausse	1.25	3.50	0.59	2.12	0.03 *
	stock14Est_reste_stable	0.76	2.13	0.60	1.26	0.21
	stock14Plutot_augmente	1.27	3.57	0.74	1.73	0.08 .
	taux_detteEntre_10_et_15pourcent	1.97	7.18	0.74	2.68	0.01 **
	taux_detteEntre_5_et_10pourcent	1.03	2.81	0.77	1.35	0.18
	taux_detteEn_bas_5pourcent	-0.88	0.41	0.64	-1.38	0.17

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

TABLE A.13 – Modélisation de la longévité

	Coefficients	Estimate	Odd.Ratio	Std..Error	z.value	Pr(> z )
	1 2	-1.00	0.37	0.66	-1.51	0.13
	2 3	-0.34	0.71	0.64	-0.53	0.59
	3 4	-0.06	0.94	0.64	-0.10	0.92
	4 5	0.50	1.64	0.64	0.77	0.44
	5 6	2.43	11.39	0.71	3.44	0.00
	6 7	4.02	55.56	0.81	4.96	0.00
	niveau_envEngPeuPas	0.64	1.90	0.66	0.97	0.33
	niveau_envTrèsEng	1.41	4.09	0.59	2.39	0.02 *
	taux_detteEntre_10_et_15pourcent	2.07	7.94	0.70	2.95	0.00 **
	taux_detteEntre_5_et_10pourcent	0.32	1.37	0.77	0.41	0.68
	taux_detteEn_bas_5pourcent	1.43	4.17	0.68	2.10	0.04 *
	depMatVegMVMoyen	0.87	2.39	0.68	1.28	0.20
	depMatVegMVSUP	0.32	1.37	0.64	0.49	0.62
	depProPhytoPPMoyen	-1.46	0.23	0.70	-2.09	0.04 *
	depProPhytoPPSUP	-0.19	0.83	0.68	-0.28	0.78

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#### b) Régression logistique ordonnée avec les variables de pratiques

TABLE A.14 – Modélisation du dépérissement

	Coefficients	Estimate	Odd.Ratio	Std..Error	z.value	Pr(> z )
	0 1	-1.71	0.18	0.99	-1.73	0.08
	1 2	0.28	1.32	0.96	0.29	0.78
	diplomeNiveau_Bac	0.43	1.54	0.89	0.48	0.63
	diplomeInferieur_au_bac	1.33	3.78	0.90	1.49	0.14
	evo_marge10Baisse	-0.85	0.43	0.84	-1.01	0.31
	evo_marge10Hausse	-1.78	0.17	0.82	-2.18	0.03 *
	niveau_envEngPeuPas	-1.46	0.23	0.79	-1.85	0.06 .
	niveau_envTrèsEng	-1.39	0.25	0.77	-1.81	0.07 .
	taux_detteEntre_10_et_15pourcent	-3.56	0.03	1.08	-3.28	0.00 **
	taux_detteEntre_5_et_10pourcent	-0.69	0.50	0.91	-0.77	0.44
	taux_detteEn_bas_5pourcent	-0.14	0.87	0.77	-0.18	0.86
	recolteOui	-2.34	0.10	2.14	-1.09	0.27
	depMainOeuvreMDMoyen	1.52	4.57	0.83	1.83	0.07 .
	depMainOeuvreMDSUP	0.30	1.35	0.71	0.42	0.67
	complantation0	0.85	2.33	1.10	0.77	0.44

Signif. codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

TABLE A.15 – Modélisation du rendement

	Estimate	Odd.Ratio	Std..Error	z.value	Pr(> z )
0 1	-1.24	0.29	0.76	-1.63	0.10
1 2	0.52	1.69	0.68	0.76	0.44
2 3	0.70	2.02	0.68	1.03	0.30
3 4	1.37	3.93	0.68	2.00	0.05
4 5	3.90	49.42	0.89	4.40	0.00
evo_marge10Baisse	0.72	2.05	0.68	1.05	0.29
evo_marge10Hausse	1.60	4.96	0.61	2.60	0.01 **
niveau_envEngPeuPas	1.02	2.78	0.69	1.48	0.14
niveau_envTrèsEng	0.04	1.04	0.61	0.06	0.95
taux_detteEntre_10_et_15pourcent	1.78	5.95	0.75	2.38	0.02 *
taux_detteEntre_5_et_10pourcent	0.86	2.36	0.74	1.16	0.24
taux_detteEn_bas_5pourcent	-1.02	0.36	0.65	-1.57	0.12
technique_taille0	0.80	2.24	0.59	1.35	0.18

Signif. codes : 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

TABLE A.16 – Modélisation de la longévité

	Coefficients	Estimate	Odd.Ratio	Std..Error	z.value	Pr(> z )
1 2		-1.00	0.37	0.66	-1.51	0.13
2 3		-0.34	0.71	0.64	-0.53	0.59
3 4		-0.06	0.94	0.64	-0.10	0.92
4 5		0.50	1.64	0.64	0.77	0.44
5 6		2.43	11.39	0.71	3.44	0.00
6 7		4.02	55.56	0.81	4.96	0.00
niveau_envEngPeuPas		0.64	1.90	0.66	0.97	0.33
niveau_envTrèsEng		1.41	4.09	0.59	2.39	0.02 *
taux_detteEntre_10_et_15pourcent		2.07	7.94	0.70	2.95	0.00 **
taux_detteEntre_5_et_10pourcent		0.32	1.37	0.77	0.41	0.68
taux_detteEn_bas_5pourcent		1.43	4.17	0.68	2.10	0.04 *
depMatVegMVMoyen		0.87	2.39	0.68	1.28	0.20
depMatVegMVSUP		0.32	1.37	0.64	0.49	0.62
depProPhytoPPMoyen		-1.46	0.23	0.70	-2.09	0.04 *
depProPhytoPPSUP		-0.19	0.83	0.68	-0.28	0.78

Signif. codes : 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

## A.5 Méthode de calcul de l'indicateur du dépérissement



- d'un calcul d'**odds ratio** sur une dizaine de variables chacune découpée en catégories.

Un calcul d'odds ratio est effectué pour chacune des 8 variables retenues pour le calcul du score et dont la liste est présente ci-dessous. Ces valeurs d'odds ratio sont sommées pour obtenir un score, correspondant à une exploitation enquêtée. Le calcul est le suivant :

- 1) On pose p la proportion d'individus de type dépérissant touchée par un événement A
- 2) On pose q la proportion d'individus de type non-dépérissant touchée par ce même événement A
- 3) L'odds ratio est alors :  $\frac{p \div (1-p)}{q \div (1-q)}$ . Ainsi plus cette valeur est élevée, plus l'événement A est fréquent dans la population des dépérissants.

Les calculs existent aujourd'hui sous Access grâce à des requêtes SQL. Il faudra adapter ces requêtes afin de créer un outil de calcul fonctionnel et évolutif. En effet, la base doit permettre de calculer au jour le jour (c'est-à-dire à chaque nouvel enquêté) les odds ratio. Dans l'outil en lui-même, les valeurs d'odds ratio ne sont mises à jour que quand l'administrateur le décide, ceci afin de distinguer les différentes versions de l'outil pendant son perfectionnement et permettre les comparaisons entre enquêtés d'une même version. Il faudra donc prévoir des numéros de version (implémentation à chaque mise à jour de la valeur des odds ratio depuis 1.0). La version 2.0 est attendue quand l'outil aura suffisamment évolué pour que les variables elles-mêmes changent (par exemple intégration de nouvelles questions dont la pertinence aura été démontrée).

Nous aurons besoin d'un outil de gestion de la base (type cyberconsole) afin de relancer de façon régulière le calcul des variables sur l'intégralité de la base, d'épurer des données aberrantes, de faire des recherches sur certaines données etc. Il s'agit d'un outil de gestion et d'évolution de la base de données. Les gestionnaires de cet outil seront les membres de l'équipe d'animation du PNDV au CNIV, aussi l'outil et la gestion de la base doivent être accessibles. Il sera prévu un temps de formation à l'outil de l'équipe du CNIV.

