



**La gestion du risque climatique par la diversification: une stratégie gagnante dans
l'industrie vitivinicole ?**

présenté par

ROMAINE CHRISTEN

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Bachelor of Science HES-SO en
Hôtellerie et professions de l'accueil délivré par l'Ecole hôtelière de Lausanne

Sous la supervision de

DR. PHILIPPE MASSET

Lausanne, Suisse

Juin, 2018

Code de l'honneur de l'EHL

En ma qualité d'étudiant/e de l'Ecole hôtelière de Lausanne, je soutiens et défends l'intégrité académique, la rigueur académique et la liberté académique comme autant de valeurs fondamentales et essentielles d'un enseignement supérieur. J'affirme, en donnant ma parole d'honneur, que les travaux soumis en mon nom sont le fruit de mes propres efforts et que toute idée ou tout document, utilisé pour étayer ce travail et ne constituant pas une réflexion personnelle, est cité et référencé en conséquence.

Résumé

Le climat est essentiel pour la viticulture. En effet, il permet à la vigne de se développer correctement. Cependant, il tend à se modifier et la fréquence des accidents climatiques s'accroît d'année en année. Cette instabilité provoque une incertitude et donc un risque sur la variation des récoltes. La nécessité d'élaborer des solutions pour atténuer ce risque devient primordiale. Le but de ce papier est de proposer, tester et analyser l'efficacité d'une stratégie de gestion du risque par la diversification des cépages. Le potentiel effet de diversification a été évoqué dans la littérature, mais n'a pas encore été explicitement proposé comme moyen de gestion du risque. Pour réaliser cette étude, un échantillon de 5'679 données sur les quantités et la qualité des récoltes de raisin en Valais sur quinze millésimes a été utilisé. Les données de ce travail proviennent de différentes plateformes, comme Agrométéo et IDAweb ainsi que de multiples rapports, fournis par l'administration cantonale et fédérale. Les variables dépendantes sont déterminées par le calcul des écarts de quantité et de qualité des récoltes, capturant l'incertitude et donc le risque. L'analyse est divisée en quatre étapes principales, qui permettent d'analyser les tendances climatiques des millésimes, de valider le lien entre les conditions météorologiques et les variations de quantité et de qualité, de déterminer les sources des variations et de tester l'efficacité de la stratégie de diversification par la création de portefeuilles. Les deux modèles utilisés pour la deuxième et la troisième étape sont des régressions multivariées, calculées sur des variables muettes et/ou continues. Les résultats montrent que les variations existent entre les millésimes et qu'elles sont significativement influencées par les conditions climatiques. De plus, les cépages créent la variation et leur non-corrélation suggère un effet de diversification. En effet, le risque diminue considérablement à l'ajout d'un cépage dans le portefeuille. Ainsi, la diversification permet la gestion du risque climatique. Ce travail constitue une première approche, et la Suisse, déjà bien avancée pour sa diversité variétale, pourrait servir de laboratoire pour des investigations plus précises et profondes.

Table des matières

1. Introduction	7
2. Revue de littérature	12
2.1. Changements climatiques et agriculture.....	12
2.2. Impact sur la viticulture.....	14
2.3. Impacts économiques du changement climatique sur le vin	19
2.4. Présentation du vignoble valaisan et de ses spécificités.....	22
2.5. Développement du cadre conceptuel d'analyse	26
3. Données	29
3.1. Sources de données	29
3.2. Présentation des millésimes	30
3.3. Echantillon et statistiques descriptives.....	36
3.4. Définitions des variables	36
4. Analyse empirique	38
4.1. Variation des quantités et de la qualité dans le temps	39
4.2. Lien entre les conditions climatiques, et la quantité et la qualité des récoltes	40
4.3. Sources des variations et corrélations	41
4.4. Création de portefeuilles	44
5. Discussion	47
5.1. Résumé / Explication des résultats	47
5.2. Implications managériales/ pratiques	47
6. Conclusion	50
7. Références	52

Table des tableaux

Tableau 1: Revue de littérature concernant les aspects environnementaux.....	59
Tableau 2: Revue de littérature concernant les aspects économiques.....	62
Tableau 3: Evolution du climat pendant les cinq phases phénologiques du Pinot noir.....	65
Tableau 4: Définition des variables de cépages de l'échantillon.....	67
Tableau 5: Définition des variables de communes de l'échantillon.....	68
Tableau 6: Relation entre les conditions climatiques durant le cycle végétatif et les variations de la quantité et de la qualité.....	69
Tableau 7: Analyse des sources de variations de la quantité et de la qualité.....	70
Tableau 8: Corrélation entre les variations de quantité des cépages.....	71
Tableau 9: Corrélation entre les variations de qualité des cépages.....	72
Tableau 10: Combinaison détaillée des portefeuilles selon le nombre de cépages blancs inclus.....	73
Tableau 11: Combinaison détaillée des portefeuilles selon le nombre de cépages rouges inclus.....	74
Tableau 12: Combinaison détaillée des portefeuilles selon le nombre de cépages blancs et rouges inclus.....	75

Table des figures, illustrations et encadrés

Figure 1 : Evolution des variables dans le temps.....	76
Figure 2 : Evolution des portefeuilles à cépages blancs à l'ajout d'un cépage.....	77
Figure 3 : Evolution des portefeuilles à cépages rouges à l'ajout d'un cépage.....	78
Figure 4 : Evolution des portefeuilles à cépages blancs et rouges à l'ajout d'un cépage.....	79
Illustration 1 : Stades phénologiques selon l'échelle BBCH.....	80
Illustration 2 : Topographie du Valais Centrale et influence du Foehn.....	81
Illustration 3 : Résumé des accidents climatiques par millésime.....	82
Encadré 1 : Présentation de quatre différentes caves valaisannes et de leur fonctionnement.....	83
Encadré 2 : Répartition, consommation et prix des vins valaisans.....	84

1. Introduction

Les changements climatiques et leurs impacts sur la vie humaine constituent un réel problème international. En effet, l'homme est dépendant du climat pour plusieurs raisons: premièrement, il influence fortement l'agriculture, qui prend une place considérable dans sa vie quotidienne ; deuxièmement, ses variations ou anomalies perturbent le développement des végétaux, impactant directement les cultures (Jones & Webb, 2010). Durant les deux dernières décennies, afin de réagir à cette dépendance, les chercheurs se sont focalisés sur les aléas et crises climatiques, devenant de plus en plus fréquentes et intenses (Iglesias, Quiroga, Moneo, & Garrote, 2012 ; Schultz & Jones, 2010). Ces phénomènes affectent les récoltes de façon plus critique en perturbant les cycles végétatifs¹ des plantations. La viticulture, faisant partie de l'agriculture, se sent également menacée par cet enjeu, bien qu'elle ne demeure pas vitale à l'homme.

Certains pays producteurs de vins dépendent de la viticulture pour leur développement économique. Pour comprendre l'industrie du vin, il est nécessaire d'analyser deux aspects agronomiques essentiels : le rendement et la qualité. Le rendement signifie le nombre de raisins produits par rapport à une surface donnée. Il est donc fortement lié à la quantité de raisins récoltée dans un vignoble lors des vendanges. Les variations des quantités d'année en année et la façon dont elles fluctuent au fil du temps représentent des éléments nécessaires à l'élaboration de stratégies vitivinicoles. La définition de la qualité, dans ce domaine, a longuement été débattue, mais de manière générale, elle se réfère à l'équilibre entre le taux d'acidité et de sucre, accompagnée d'arômes et de saveurs types (Wolkovich, de Cortázar-Atauri, Morales-Castilla, Nicholas, & Lacombe, 2018). Le développement de ces composés provient, en partie, du climat. Les conditions climatiques dans lesquelles évolue la vigne influencent donc considérablement la qualité du raisin produit.

¹ Ensemble des stades de développement des plantes, du repos hivernal à la chute des feuilles.

« Ce n'est pas le soleil qui fait le vin, c'est le climat qui fait le millésime » (Thurre, 1985). Cette phrase illustre l'importance du climat dans l'économie vitivinicole. Il constitue la base d'une multitude de décisions et fonde le point de départ de toutes les stratégies développées par les vignerons, producteurs et encaveurs, pour les décisions de plantation, de traitement et de gestion de l'évolution de la vigne. En effet, le climat peut être un véritable ami du vigneron et de son vignoble, mais aussi un ennemi dévastateur. Il semble donc nécessaire de l'étudier, de comprendre son fonctionnement et ses interactions avec l'environnement.

Les vins suisses semblent attirer de plus en plus la curiosité des consommateurs étrangers, car, malgré la petite taille de ce pays, ils semblent prendre une place considérable dans l'industrie internationale du vin (Mullen, 2018). En effet, la Suisse se place 132ème mondial avec sa surface de 4 128 500 hectares; 20ème pour son vignoble, avec 14 800 hectares; 10ème pour son ratio entre la surface du pays et de ses vignes; et finalement 4ème pour la consommation de vin annuelle par habitant (33 litres par habitant) (Swiss Wine, 2018). La vigne représente donc un acteur important de l'économie du pays. Toutefois, contrairement à des régions comme Bordeaux qui auront tendance à augmenter leurs prix pour compenser les pertes de quantité récoltée, la Suisse prospère dans une économie qui ne reflète rien en termes de prix, c'est-à-dire qu'elle développe une stratégie lissant ses prix en les gardant stables. C'est également l'une des raisons pour laquelle la spéculation sur les vins suisses reste très limitée et peu commune (Gfeller², 2018). La nécessité de trouver des options autres que des stratégies de prix apparaît afin de lutter et d'atténuer les effets néfastes des changements climatiques. Ces aspects expliquent les fondements de ce travail, dont le but est de suggérer une nouvelle stratégie, en se basant sur le concept financier de diversification. En effet, dans le monde de la finance, cette technique est utilisée comme

² Christian Gfeller est œnologue et responsable technique à la cave des Vins des Chevaliers à Salquenen et membre de la Société des Encaveurs de Vins du Valais (SEVV)

gestion des risques, en mélangeant une grande variété d'investissements dans un portefeuille³. Dans le contexte de cette étude, les changements climatiques représentent les risques, les différents cépages sont proposés comme potentielle variété d'investissements et le vignoble d'une zone donnée constitue le portefeuille. Cela explique la raison pour laquelle ce travail se focalise sur la Suisse et plus particulièrement sur le Valais, la plus grande région viticole suisse, connu comme le paradis de la diversité des cépages et des terrains (Dürrenmatt, 2016).

Les motivations de cette étude se sont fondées notamment sur les pertes gigantesques dues au gel de 2017 en Valais, par une volonté d'exploiter des moyens de lutte et de résistance, mis à disposition par la nature, afin d'éviter que des scénarios semblables se répètent.

Ainsi, le but de ce travail est d'analyser si la diversification des cépages pourrait être une stratégie gagnante de gestion du risque climatique, afin de l'appliquer dans différentes régions. L'échantillon analysé est composé de 5'679 données sur les quantités et la qualité des récoltes de raisin en Valais, depuis le millésime 2003 jusqu'au millésime 2017, en se focalisant sur les 16 cépages et les 26 communes les plus représentatifs du canton. Ces données ont été relevées des rapports de vendanges, rédigés et fournis chaque année par le Laboratoire cantonal⁴ du Valais. Les données météorologiques utilisées dans l'analyse ont été extraites de deux plateformes, Agrométéo, plateforme publique en partenariat avec Agroscope⁵ et IDAweb, mise à disposition par MétéoSuisse⁶. Cette étude se base sur les écarts de quantité et de qualité des récoltes, puisqu'ils sont liés à une incertitude et donc

³ Cette définition provient du site « Investopedia », qui constitue une base pour l'économie et la finance. Disponible sur <https://www.investopedia.com/terms/d/diversification.asp> [Accès le 24 mai 2018]

⁴ Sous-branche du Service Cantonale de la Consommation et des Affaires Vétérinaires (SCAV).

⁵ Agroscope apporte une contribution importante à la recherche suisse pour l'alimentation, l'agriculture et l'environnement et est rattaché à l'Office fédérale de l'agriculture.

⁶ Organisme fédéral suisse responsable de la météorologie en Suisse. Il fournit données et prévisions météorologiques générales à la population et avertit l'approche d'intempéries, de fortes précipitations ou d'orages pour que les autorités cantonales puissent intervenir.

capturent le risque. L'analyse est divisée en quatre étapes principales. Une première analyse sera conduite sur le vignoble valaisan, afin de s'assurer que des variations en termes de quantité et de qualité des récoltes existent au cours des quinze dernières années et de définir les tendances. Une seconde analyse permettra de valider le lien entre les conditions météorologiques et la production des vignobles pour que l'essence de ce travail soit cohérente. Une troisième analyse sera effectuée afin d'identifier les potentielles causes de ces variations, de déterminer si les cépages influencent significativement les écarts et d'analyser le comportement de chaque cépage face aux changements climatiques. Finalement, les résultats positifs de la troisième étape, à savoir que les cépages créent la variation et qu'ils sont imparfaitement corrélés, permettront de suggérer la diversification des cépages comme moyen de gestion du risque lié aux changements climatiques. La dernière analyse consistera en la création de portefeuilles, afin de confirmer l'efficacité de la stratégie proposée et de déterminer les cépages optimaux pour minimiser la variance d'un portefeuille donné.

Ce travail contribue à la littérature existante par une prise de conscience de l'utilité de l'effet de diversification des cépages, déjà évoquée dans différents contextes par d'autres études. Cependant, ces dernières n'ont pas explicitement évoqué la diversification comme stratégie de gestion du risque climatique. De plus, ces éléments n'ont jamais été étudiés en Valais, où une multitude de cépages sont cultivés. Globalement, la Suisse, de par ses spécificités, semble être avancée de ce point de vue et pourrait servir de laboratoire pour des investigations plus approfondies et précises.

La structure de ce travail est définie comme suit. La deuxième section relate la littérature pertinente concernant le sujet étudié. La section suivante présente les différentes sources utilisées pour collecter les données, l'échantillon et les statistiques descriptives, et définit les variables. La quatrième section explique l'analyse empirique et ses résultats. La

La gestion du risque climatique par la diversification: une stratégie gagnante dans l'industrie vitivinicole?

cinquième section résume les résultats obtenus et discute des implications managériales.

Finalement, la dernière section permet de conclure ce travail.

2. Revue de littérature

Cette partie est consacrée à la présentation de la littérature existante sur la relation entre les conditions climatiques et la viticulture. Cette section débute par la définition des changements climatiques, suivie d'une brève discussion de leurs effets dans le monde agricole, et, plus précisément, sur la viticulture. Les impacts sur l'économie vitivinicole seront ensuite évoqués. Le vignoble valaisan, sujet d'étude, sera, par la suite, présenté de manière plus approfondie. Finalement, un développement de cadre conceptuel sera proposé.

2.1. Changements climatiques et agriculture

Les changements climatiques se traduisent par une augmentation de la température moyenne, des précipitations irrégulières, une augmentation de la fréquence des épisodes extrêmes et ponctuels, et des variations climatiques à court terme (Catry, 2010). Depuis 1950, le réchauffement climatique s'accroît d'année en année (IPCC⁷). De nombreuses études et discussions ont été menées dans le but d'analyser les changements climatiques et leurs impacts sur l'environnement et les secteurs ruraux. Ces études ont été conduites dans le but de mieux comprendre leurs influences et leurs tendances afin de développer des stratégies contre les effets négatifs de ces phénomènes, mais aussi d'en saisir les opportunités (Sacchelli, Fabbri, & Menghini, 2016).

Les changements climatiques globaux agissent dès lors au niveau local, modifiant les conditions de production agricole selon les régions. Ils se traduisent par des avancements ou retardements dans le calendrier climatique, comme l'arrivée des pluies; par des quantités annuelles de précipitations changeantes, provoquant des périodes de sécheresse plus intenses et plus fréquentes; par l'apparition plus fréquente de phénomènes anormaux, extrêmes et

⁷ Intergovernmental Panel on Climate Change est un organe international expert en sciences liées aux changements climatiques.

ponctuels, tels que des cyclones; et par une variabilité locale qui diffère en temps et selon le lieu, les changements climatiques locaux ne se reflétant pas uniformément sur un territoire donné (Dugué, Delille & Malgrange, 2012).

Une étude réalisée à Béja, en Tunisie, a analysé l'impact du changement climatique sur la production de cultures céréalières, par une régression des rendements de 1980 à 2009 sur des variables météorologiques (températures et précipitations). Les résultats indiquent une dépendance significative des rendements aux conditions climatiques. De plus, elle a projeté que l'impact s'accroîtra d'ici 2030, encourageant la recherche de nouvelles techniques agricoles et d'adaptation des variétés, afin de réduire les effets des changements climatiques sur le long terme (Chebil, Mtimet, & Tizaoui, 2011).

Loko et al. (2013) ont analysé les effets des changements climatiques sur l'igname, une culture vivrière importante pour la sécurité alimentaire au Bénin. Ils ont observé, par une analyse météorologique, une fluctuation des températures et de la pluviométrie, accompagnée d'une diminution des précipitations et d'une augmentation des températures, provoquant une diminution des rendements; l'apparition de la pourriture sur les tubercules et les semences; l'appauvrissement et la dégradation des sols; ainsi que l'accroissement de la présence d'insectes et de ravageurs. Ils ont développé des stratégies, telles que le déplacement vers des zones plus humides, l'utilisation de pratiques culturales différentes, mais, ils ont surtout émis la diversité variétale comme moyen d'adaptation au producteur (Loko, Dansi, Agre, Akpa, Dossou-Aminon, Assogba, & Sanni, 2013).

2.2. Impact sur la viticulture

Le cycle végétatif de la vigne est déterminé par l'échelle BBCH⁸, mise en place à l'international dans les années 1990, afin d'établir une représentation uniforme de l'évolution des différentes espèces végétales. Cette échelle est résumée dans l'Illustration 1.

Insérez l'illustration 1 ici.

Cette échelle comprend une échelle de 0 à 100 étapes, dont sept stades principaux: (1) le débourrement, lorsque le bourgeon apparaît et que l'extrémité verte devient nettement visible (de mi-mars à mi-avril); (2) le développement des feuilles (de mi-avril à mi-mai); (3) l'apparition des inflorescences, lorsque les grappes deviennent apparentes (de mi-mai à début juin); (4) la floraison, durant laquelle les fleurs poussent et s'ouvrent (du début juin à mi-juin); (5) le développement des fruits, lorsque les baies s'agrandissent et alourdissent la grappe qui tend désormais vers le bas (de mi-juin à mi-juillet); (6) la véraison et la maturation des baies, durant laquelle les baies changent de couleurs et les raisins deviennent matures et favorables aux vendanges (mi-juillet à fin octobre); et (7) la sénescence, où, avant la période de dormance (décembre à mars), les sarments viennent à maturité et les feuilles se colorent avant de chuter (novembre) (Bloesch & Viret, 2008; Pythoud, 2007). L'évolution de chaque phase nécessite des conditions climatiques et environnementales optimales pour le développement d'un raisin de qualité, permettant de rentabiliser la production.

Une étude de Jones (2004) sur la structure climatique et sa compatibilité avec la viticulture internationale a montré que les changements climatiques impactaient les vignes sous trois dimensions. La première constitue un risque sur la quantité des récoltes, lié à des événements météorologiques exceptionnels, localisés et à court terme, tels que le gel, la

⁸ Dérive de l'expression allemande «Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie».

grêle, les orages, les vents violents et les pluies torrentielles. L'exemple du débordement du Rhône dans certaines régions de France en 2002, provoquant des inondations massives et résultant en des quantités et une qualité déplorables de la vigne, illustre ce risque (Lorente, 2002). La deuxième influence la qualité de la production, la composition du raisin (acidité, sucre et maturité) étant modifiée par des variabilités climatiques régionales et saisonnières, telles que des périodes très humides ou très sèches, très chaudes ou très froides (Jones, White, Cooper, & Storchmann, 2005). Cela a été le cas lors de la canicule de 2003, où les rendements ont baissé de 30% par rapport à 2002 dans plusieurs régions de Suisse (Office fédérale de l'agriculture, 2003). A l'inverse, une augmentation de la production due à des changements climatiques pourrait impacter négativement la qualité et créer un besoin de revoir les techniques culturales (Catry, 2010). La dernière dimension concerne l'adéquation de certains cépages dans des conditions climatiques qui évoluent sur le long terme et au niveau régional, voir même global, telles que le réchauffement climatique. Certains cépages, trop fragiles, ne s'adaptent pas à ces changements et deviennent donc incompatibles avec les zones où ils étaient autrefois parfaitement cultivables.

Les tendances climatiques énoncées plus haut touchent la majorité des régions productrices de vins. Le modèle AOGCM⁹, appliqué sur ces régions pour la période de 1950 à 2049, prévoit un réchauffement de 3°C à 5°C d'ici la fin du 21^{ème} siècle. Cet effet risque d'affecter progressivement le style des vins provenant des cépages déjà existants et cultivés dans ces régions. La perturbation de la maturation des fruits et le déséquilibre de leur composition rendront leur production difficile (Jones et al., 2005).

Une autre analyse visant à développer des stratégies d'adaptation au réchauffement climatique en Europe a conclu que les stades phénologiques¹⁰ ont tendance à commencer

⁹ Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM), développé par le centre Hadley en 2000.

¹⁰La phénologie étudie l'apparition d'événements périodiques (annuels le plus souvent) dans l'agriculture, déterminée par les variations saisonnières du climat.

plus tôt; que le cycle végétatif de la vigne se raccourcit; et qu'une projection future des précipitations promet une augmentation dans le Nord, mais une diminution dans le Sud (Lough, Wigley, & Palutikof, 1983; Catry, 2010).

Ces changements vont avoir un effet différent selon le stade phénologique de la vigne. Premièrement, durant les périodes de sénescence et de dormance, la vigne est suffisamment forte pour résister à des températures très froides, et l'augmentation de la température, après des températures fraîches, permet un débourrement rapide et homogène (Pythoud, 2007). La température du sol et de l'air, combinée à la longueur des jours sont les facteurs déterminant le début du débourrement. Deuxièmement, durant la floraison, il est important d'avoir des températures relativement élevées, afin d'éviter les phénomènes de coulure et de millerandage, c'est-à-dire respectivement que les fleurs ne fécondent pas, se dessèchent et tombent et que la fécondation soit imparfaite provoquant un sous-développement de certaines baies restant de petite taille (Laboratoire cantonal, 2009; Agriculture Nouvelle, 2013); un bon ensoleillement et peu de pluie permettant d'éviter le développement de maladies fongiques (Jones et al., 2005). Troisièmement, la véraison est un stade fragile, durant lequel la vigne exige peu de variabilités dans les températures, peu de chocs thermiques et des températures modérées. Finalement, il est nécessaire que les vendanges puissent se faire dans des conditions optimales, à savoir peu de pluie, pour éviter l'apparition de pourriture grise¹¹, avec des journées chaudes accompagnées de nuits fraîches, pour que la maturité phénologique du fruit, le développement des polyphénols¹² et des arômes typiques des cépages soient idéaux (Office cantonale de la viticulture, 2007).

La qualité du vin va aussi dépendre des conditions climatiques globales: si le climat se refroidit, il est possible d'observer une sous-maturité et le raisin, pauvre en sucre,

¹¹Le botrytis, ou pourriture grise, est une maladie de la vigne causée par un champignon le, *Botrytis cinerea*, qui attaque n'importe quelles parties de la vigne, où la moindre blessure apparaît.

¹² Ces substances, dont les plus abondantes dans le raisin sont les anthocyanes et les tannins, agissent comme principales propriétés organoleptiques des vins.

contiendra des arômes peu mûrs, résultant en un vin peu équilibré. A l'inverse, si les températures sont trop chaudes, le raisin aura moins de rétention d'acidité, des arômes trop mûrs et, finalement, le vin qui en résulte sera peu équilibré. La zone optimale entre les deux permettra aux raisins de développer un bon niveau de sucre, des arômes mûrs, pour un vin équilibré (Jones et al., 2005). De même, un manque d'humidité peut provoquer un blocage de la maturité, aboutissant à des vins manquant d'acidité. A l'inverse, une humidité trop présente favorise l'apparition de maladies telles que la *Drosophila suzukii*¹³ (Gfeller, 2018). Par ces phénomènes globaux, les cépages risquent de perdre leur authenticité et leur typicité aboutissant à des vins singulièrement différents, avec des arômes modifiés (Jones et al., 2005). Finalement, les variations des millésimes dépendent des événements climatiques plus spécifiques et locaux tels que le gel, la canicule ou la grêle, suivis souvent de récoltes modestes et/ou de réduction de la taille des grappes, produisant des raisins plus concentrés.

Une recherche menée sur une période de 50 ans en Californie, a conclu qu'une réduction des périodes de gel, un bourgeonnement plus précoce au printemps et une période de croissance plus longue menaient à des rendements plus élevés et à une amélioration de la qualité des raisins. Cependant, il a aussi été déterminé que le réchauffement climatique et l'augmentation de gaz à effet de serre transformaient certaines régions productrices de vins fins du sud de la Californie, les rendant inaptes à produire de tels vins, les forçant, *in fine*, à déplacer, leurs zones viticoles vers le nord, où les températures restent convenables (Cahill, Lobell, Field, Bonfils, & Hayhoe, 2007).

Ces changements climatiques menacent également une notion plus spécifique, le terroir. Cette notion décrit la relation entre la vigne et la qualité, en se basant sur des facteurs naturels et humains. Ces facteurs naturels peuvent être le lieu de production, les types de sols

¹³ Espèce d'insectes diptères, originaire d'Asie du Sud-Est, dont les femelles pondent leurs œufs dans les raisins en cours de maturation. Cet insecte est probablement une conséquence de la mondialisation.

et de sous-sols, la topographie¹⁴, les variabilités au niveau des macroclimats et des microclimats (effets millésimes) et les cépages. Les parcelles de vignoble qui ont permis d'élaborer un vin, les pratiques culturales, les techniques et le savoir-faire des vignerons demeurent aussi des facteurs déterminants. Les changements climatiques vont rendre cette notion difficile à respecter puisqu'ils touchent l'essence des facteurs spécifiques et traditionnels de la définition du terroir (Catry, 2010).

L'âge de la vigne devient aussi un aspect à ne pas négliger lorsque les variations climatiques sont évoquées. En effet, sachant que la durée de vie d'une vigne peut être de plus de 50 ans, ces impacts prennent d'autant plus d'importance lorsqu'il s'agit d'une vigne déjà plantée depuis des années, habituée à un climat spécifique. Une vigne plus jeune s'adapte plus facilement à un climat changeant pour se développer correctement (Webb, Whetton, & Barlow, 2008).

D'autres études ont prouvé que le réchauffement climatique favorise le développement de nouveaux insectes et maladies en provenance du sud, qui ne pouvaient se développer auparavant sous des températures plus douces, et augmente la présence de gaz à effet de serre, impactant directement la qualité et la composition du raisin, ainsi que la texture du bois utilisé pour l'élaboration de barriques de vieillissement du vin (Schultz, 2000; Tate, 2001; Catry, 2010).

Les différentes études résumées et développées dans le Tableau 1 se sont penchées sur les aspects environnementaux tels que les potentielles variations sur les différents plants et cépages, les variations dans la production de vins, l'apparition de nouveaux ravageurs et maladies de la vigne, et l'impact sur la phénologie de celle-ci.

Insérez le Tableau 1 ici.

¹⁴ Configuration, relief (d'un lieu, terrain ou pays).

2.3. Impacts économiques du changement climatique sur le vin

La production de vin ne demeure pas vitale à l'homme, mais constitue néanmoins un produit important dans le développement de certaines régions. En effet, le vin se trouve au centre de l'activité économique de ces dernières, ce qui développe un risque supplémentaire, si sa production est affectée. Effectivement, la viticulture est sensible aux aléas climatiques, pour ses aspects culturels et socio-économiques. De ce fait, les stratégies émises dans ces régions peuvent être fortement menacées. Le choix des cépages est pensé selon différentes variables régionales: facilité de production et d'entretien, avantage concurrentiel face à d'autres régions viticoles, et prix finaux. Les forts changements climatiques remettent en cause ces calculs et fragilisent, au final, toute la production (Sacchelli et al., 2016).

De plus, la production étant fortement impactée par les dérèglements climatiques, l'économie locale peut se retrouver rapidement déstabilisée par ces derniers. Par conséquent, pour mesurer la vulnérabilité d'une entreprise, d'une communauté ou d'une région vinicole, il est nécessaire de comprendre leurs capacités d'adaptation. Cet aspect a déjà été légèrement analysé (Stock, Gerstengarbe, Kartschall, & Werner, 2004), mais n'a de loin pas encore été complètement exploré (Jones et al., 2005). Plusieurs études ont analysé les impacts du point de vue économique. Elles sont résumées dans le Tableau 2.

Insérez le Tableau 2 ici.

Les impacts économiques peuvent être analysés sous divers aspects approfondis ci-dessous: la convenance et le choix des cépages, le prix, le rendement, la qualité, le revenu et le profit (Ashenfelter & Storchmann, 2014), mais aussi l'apparition de menaces ou d'opportunités pour les différentes régions.

Une étude a été effectuée en Allemagne dans la vallée de la Moselle, région productrice de vins blancs secs, afin de déterminer si les changements climatiques avaient

un impact sur le prix des vins et donc sur le revenu de ses producteurs. Le résultat de cette étude a montré que la qualité et le prix des vins dépendent fortement de la météo et ainsi implicitement, influence le revenu du producteur. Il a également été prouvé qu'un climat chaud et sec durant la période de croissance du fruit a un impact positif et produit des raisins de meilleure qualité, pour la production de vins fins. En revanche, les quantités de précipitations n'ont pas montré de résultat significatif, certainement dû à de grandes variations selon les sites et à des données peu pertinentes, qui peuvent provenir d'une station météorologique à plus de 80 kilomètres (Ashenfelter et Storchmann, 2010).

Les résultats concernant le lien entre les conditions météorologiques et la production de vin sont corroborés par une recherche élaborée à Bordeaux et en Champagne sur la qualité des vins et des conditions climatiques. Cette recherche a souligné la possibilité d'estimer statistiquement la qualité et le prix d'un vin mature en fonction des conditions et changements climatiques propres au millésime durant le cycle végétatif, car ces conditions prédisent les caractéristiques œnologiques et l'évolution future d'un vin (Ashenfelter, Ashmore, & Lalonde, 1995).

Par ailleurs, une baisse des rendements, accompagnée de l'impossibilité d'utiliser les mécanismes traditionnels de gestion du risque tels que l'auto-assurance par le stockage ou la valorisation de la complémentarité entre les activités agricoles sensibles aux aléas, et des incertitudes constantes sur la production face à un climat aléatoire affaiblissent les systèmes en réduisant leur capital d'exploitation et leur résultat, rendant les plus pauvres producteurs vulnérables (Dugué et al., 2012). Certaines régions pourraient ainsi être menacées. Par exemple l'augmentation du niveau de la mer causée par le réchauffement climatique influence la viticulture dans les régions près des côtes, en augmentant le risque d'inondation de certains vignobles (Schultz, 2000; Tate, 2001).

En revanche, ces changements climatiques peuvent aussi créer des opportunités pour de nouvelles régions viticoles, qui pourraient gagner un avantage concurrentiel sur les régions vinicoles anciennes et réputées (Jones, 2004; Caprio et Quamme, 2002). Par exemple, le réchauffement climatique provoque la fonte des glaces, permettant au *Vitis vinifera*¹⁵ de se développer dans des régions plus au nord, vers le pôle (Tate, 2001).

Ashenfelter et Storckmann (2014) ont étudié plus en détail la littérature sur les conséquences des variations climatiques sur les raisins et les vins durant une large période pour déterminer comment la production risque d'être touchée dans le futur. Cette analyse a permis d'élaborer des stratégies d'adaptation pour les producteurs afin d'atténuer les impacts économiques en termes de prix, de qualité, de coûts et de bénéfices. Les vigneronnes peuvent en effet ajuster les stades phénologiques pour compléter ou stopper certaines étapes à travers différentes tactiques. Ils peuvent adapter la date de leur vendange¹⁶, déplacer les zones de plantation, adapter le choix des cépages et des porte-greffes¹⁷ et utiliser des technologies en termes d'irrigation et de protection contre les radiations selon l'évolution des stades. Mais ces stratégies se trouvent souvent difficiles à mettre en place, étant limitées par des réglementations et lois spécifiques à chaque région¹⁸.

De même, LACCAVE, un projet élaboré en France par l'Institut National de Recherche en Agronomie (INRA) a été créé dans le but d'améliorer les connaissances sur les impacts des variations climatiques afin de construire des scénarios permettant d'élaborer des leviers d'adaptation pour le vignoble français sur le long terme. La communication définit le point de départ du projet, puisqu'il vise à coordonner les différents travaux en cours pour en créer une vision plus globale. Les stratégies doivent combiner des innovations

¹⁵ Espèce de vigne, la plus connue au niveau international.

¹⁶ La maturité est considérée comme optimale lorsque le rapport sucres / AT atteint l'ordre de 50 à 60. Il est donc possible d'influencer manuellement ce rapport par les vendanges.

¹⁷ Le porte-greffe constitue la partie enterrée du pied de vigne et sert de support au greffon.

¹⁸ Comme les AOC, IGP, DOC ...

techniques, telles que le matériel végétal utilisé, les pratiques agronomiques, avec des stratégies régionales, des modifications institutionnelles et les tendances des consommateurs. Il est suggéré aux viticulteurs de travailler en collaboration proche avec l'Institut pour gagner en efficacité (Ollat & Touzard, 2014).

2.4. Présentation du vignoble valaisan et de ses spécificités

Le Valais cultive la vigne depuis l'Age du Fer, soit près de sept siècles avant la conquête romaine (Histoire de la vigne et du vin en Valais, 2010). Il est considéré comme une région viticole déjà bien établie, bien que l'économie vitivinicole valaisanne ne se soit développée qu'au XIX^{ème} siècle, avec l'ouverture du Simplon et du Gothard, deux cols permettant l'accès au canton (Thurre, 1985). De plus, une étude réalisée en 2017 par Swiss Wine Promotion sur 3000 Suisses, a placé le Valais comme référence des cantons viticoles suisses (Swiss Wine, 2017). L'économie de ce canton est donc fortement liée la vigne, et il pourrait ainsi se sentir menacé par ces changements, puisqu'il va devoir adapter ses stratégies et techniques. Cette région devient alors un cas d'étude nouveau et pertinent.

Le Valais, principal canton vitivinicole de Suisse, est constitué de 4'825 hectares de vignes, qui représente le 33% de la surface viticole suisse totale (Swiss Wine, 2018). Son climat est de type continental, accompagné d'influences méditerranéennes. Il demeure aussi fortement exposé à de fortes variations quotidiennes et saisonnières des températures. En effet, en hiver, les températures sont globalement plus froides que dans la région lémanique, alors qu'en été, elles deviennent plus chaudes (Pythoud, 2007). Cependant, le climat valaisan se distingue de celui des autres cantons, car il est le plus sec de Suisse (Thurre, 1985). Il favorise la culture de la vigne, avec ses 2'000 heures d'ensoleillement et ses 600 mm de précipitations par an (Canton du Valais, 2018). De plus, il existe en Valais un vent, le foehn, qui permet de dissiper le brouillard et de permettre à la vigne de se développer, surtout en automne, lorsqu'elle a besoin d'un « dernier coup de fouet ». Ce vent doux, dont l'influence

est représentée dans l'Illustration 2, est considéré comme un régulateur du climat valaisan, qui permet parfois de sauver certaines vendanges (Thurre, 1985).

Insérez l'illustration 2 ici.

Mais ces avantages le rendent aussi plus vulnérables, puisque ce climat propice à la production de raisins de qualité pourrait être modifié par les changements climatiques à long terme, comme à court terme. Exposé au réchauffement climatique, au gel comme à la grêle, à la sécheresse comme aux inondations, et au développement de maladies, sa place en tête de la viticulture suisse s'en trouve menacée.

Le Valais contient près de 61 cépages différents. Cette diversité représente la marque distinctive du canton. De plus, la mention du cépage sur l'étiquette indique la spécialité du vin, ce qui diffère de la mention de domaine et/ou de terroir, présente dans la plupart des autres régions productrices, tels que le canton de Vaud, Bordeaux, ou de la Bourgogne (Les Vins du Valais, 2018). En effet, il n'existe qu'une appellation en Valais, l'AOC Valais¹⁹. De ce fait, les cépages font donc la différence. Le Valais est caractérisé par ses variétés autochtones, telles que l'Amigne, l'Arvine, la Rèze, l'Humagne blanc et rouge, le Cornalin, la Durize, et des spécialités comme le Païen, la Marsanne et la Syrah, mais aussi par des cépages plus faciles à cultiver et plus rémunérateurs comme le Chasselas, le Sylvaner, le Pinot noir et le Gamay. Cette diversité valaisanne offre un avantage concurrentiel et lui permet de se différencier des producteurs et concurrents internationaux (Catry, 2010). Néanmoins, cet avantage le rend également plus vulnérable, selon les conclusions de Jones et Webb (2010) qui ont déterminé que les risques de perturbation de la production de vins liés aux changements climatiques sont d'autant plus importants dans les régions où il existe

¹⁹ Pour obtenir l'AOC, il faut un rendement au quota, c'est-à-dire que la récolte ne doit pas dépasser la limite autorisée selon chaque cépage, fixée chaque année par l'Office cantonale de la viticulture (Gfeller, 2018).

de nombreux cépages, puisque chaque variété agit différemment face au climat et ses variabilités à court et à long terme (Jones & Webb, 2010).

Cependant, la diversité des cépages ne constitue pas la seule spécialité du Valais. En effet, le canton compte une multitude de types de sols, d'altitudes, d'expositions, de pentes et donc de terroirs différents, répartis sur 65 communes viticoles, regroupées sur les trois grandes régions principales : le Bas-Valais, le Valais Central et le Haut-Valais (Canton du Valais, 2018). Cette spécificité provient de la géologie du canton, situé entre les deux plaques tectoniques de l'Europe et de l'Afrique (Thurre, 1985). Plus précisément, le Valais est constitué de 1000 hectares de sol peu profond sur schistes, sous-forme de feuilletés et calcaires, de 1500 hectares de sols caillouteux et profonds d'éboulis, plutôt cristallins et schisteux, de 600 hectares de sols très calcaires fortement confrontés aux éboulements dans la région de Sierre- Salquenen, de 650 hectares de moraines, de 600 hectares de replats peu caillouteux, et le reste présente des sols plutôt variés et peu spécifiques (Zufferey, Pythoud, Letessier, Reynard, Monico, & Murisier, 2008). De plus, comme ce canton est montagneux, il existe une multitude de vignobles, se situant entre 350 mètres et 1150 mètres²⁰ d'altitude, avec des pentes atteignant les 30° (Cipolla²¹, 2016). Finalement, le Valais est traversé par un fleuve, le Rhône, qui sépare le canton en deux rives distinctes : la rive droite, appelée l'adret (90% du vignoble valaisan), où l'ensoleillement peut dépasser les dix heures par jour; et la rive gauche, l'ubac, parfois quotidiennement dépourvue de rayons lumineux (Thurre, 1985; Pythoud, 2007). L'illustration 2 présente la topographie spécifique au Valais Central.

Insérez l'illustration 2 ici.

Grâce à cette diversité topographique, de nombreux cépages trouvent leur place et bénéficient de conditions idéales à leur développement (Les Vins du Valais, 2018). De plus,

²⁰ Le plus haut vignoble d'Europe est situé dans le haut-Valais, à Visperterminen et atteint les 1150 mètres d'altitude (Swiss Wine, 2018).

²¹ Romain Cipolla est œnologue et viticulteur à la cave Weingut Cipolla à Rarogne.

cette variabilité des sols développe même des différences entre des crus provenant de mêmes cépages (Thurre, 1985). Mais cela peut aussi rendre le Valais vulnérable. L'érosion du sol est sensible aux accidents climatiques ponctuels comme les orages et vents violents et donc les vignobles en pente deviennent un risque supplémentaire pour cette région. Le Valais avait trouvé la solution pour lutter contre cette érosion: l'enherbement²². Mais avec l'arrivée de la sécheresse, le stress²³ et la concurrence hydriques, il devra aménager différemment ses vignobles en terrasse, pour trouver un nouveau moyen de lutter contre l'érosion (Catry, 2010).

Le réchauffement climatique provoque aussi un déplacement des gelées au cours du cycle végétatif, ce qui peut être dévastateur pour la vigne, comme cela s'est produit en avril 2017, où le gel a détruit plus de 30% des récoltes²⁴ (Laboratoire cantonal, 2017). De plus, le climat a tendance à être plus sec en été avec peu de pluie, ce qui crée un besoin de modifier les systèmes d'irrigation dans certaines zones, provoquant parfois des conflits d'intérêt entre les concurrents (Catry, 2010).

Les « business models » appliqués par les producteurs, au nombre d'environ 600, varient (Office fédérale de l'agriculture, 2016). En effet, la plupart des entreprises sont des petites caves familiales, qui vendent leurs vins directement aux clients et se transmettent de génération en génération. Sur les 119 500 parcelles de vignes, 23 000 propriétaires cultivent la vigne. Seulement 250 propriétaires ont des parcelles supérieures à 2 hectares, et plus de la moitié possèdent moins de 1 000 mètres carrés (Emery, 2001). Cependant, il existe aussi quelques grandes caves ou coopératives, telles que Provins, qui produisent une multitude de vins de gammes différentes. Ces vins peuvent être vendus directement aux consommateurs,

²² Technique visant à maintenir et à entretenir un couvert végétal, naturel ou semé, entre les rangs et autour de la parcelle de façon permanente.

²³ Réaction de la vigne au manque d'eau dans le sol

²⁴ La végétation était déjà bien avancée dans son développement pour la période ce qui a encore plus accentué les pertes

mais aussi par le biais de grands commerces nationaux comme la Coop en Suisse. L'Encadré 1 présente différentes caves valaisannes et leur fonctionnement.

Insérez l'Encadré 1 ici.

La production valaisanne est essentiellement réservée à la consommation locale et la concurrence sur le marché valaisan est rude pour différentes raisons. L'Encadré 2 offre une explication détaillée de la répartition de la consommation, de la concurrence et de la détermination des prix des vins valaisans.

Insérez l'Encadré 2 ici.

2.5. Développement du cadre conceptuel d'analyse

Des chercheurs de l'INRA et de l'Université de Harvard aux États-Unis ont émis l'hypothèse que l'exploitation de la diversité des cépages pourrait être un des leviers d'adaptation de la viticulture et lui permettrait de lutter contre les changements climatiques. Ils ont effectué une étude sur 1100 variétés afin d'analyser leur réaction face au climat et leur capacité d'adaptation. Les résultats montrent un grand potentiel, mais les recherches doivent être approfondies (Wolkovich et al., 2018).

Certains cépages semblent être mieux adaptés à des climats plus chauds et réagissent mieux face à la sécheresse. L'Institut des sciences de la vigne et du vin (ISVV) a analysé le comportement et l'adaptation biologique à long termes de 52 cépages en climat bordelais sur une parcelle expérimentale à Bordeaux afin de mieux les connaître. Le projet VitAdapt a permis d'expérimenter ces différentes variétés, afin d'évaluer leur potentiel de résistance aux changements climatiques survenus et futurs, et de déterminer les porte-greffes à privilégier. Le choix de ces 52 cépages s'est basé sur la maturité des variétés, en privilégiant des cépages tardifs pour s'aligner avec la contrainte du réchauffement climatique. Ils ont mené leur analyse sous deux dimensions principales: la phénologie, complexe et comprenant de

nombreux mécanismes différents; ainsi que la maturation, où ils suivent la composition du fruit en termes de teneur en sucre et en acide, de Ph et d'azote assimilable du moût. Ils ont aussi étudié, sur cette parcelle, des paramètres tels que la vigueur, et les caractéristiques viticoles et agronomiques (poids, estimation de fertilité et de rendement). Ils ont également testé le stress hydrique subi par la vigne durant la période de maturation. Enfin, ils étudient depuis 2015 les caractéristiques œnologiques des différents cépages à l'aide de micro vinification, c'est-à-dire qu'ils vinifient seulement une petite partie de la récolte pour l'étudier. Cette analyse consiste à déterminer les gènes de la plante qui répondent à l'environnement, à observer les comportements sur le vignoble et sur la plante entière, au niveau des racines (contraintes hydriques), des feuilles et du fruit, et, finalement à évaluer le potentiel de certains cépages lors de la vinification. Le résultat a suggéré que les producteurs devraient travailler en collaboration avec les scientifiques afin d'élaborer des stratégies, basées sur l'encépagement et la diversité des cépages, pour réagir face aux changements climatiques. En effet, il est indispensable de connaître les mécanismes physiologiques de la vigne afin de déterminer les cépages à choisir pour un type de climat, de terroir. Cependant, l'application de ces stratégies est limitée par certaines réglementations telles que les AOP (Van Leeuwen et al., 2016; Ollat & Destrac-Irvine, 2016).

De plus, les accidents et changements climatiques ne peuvent rarement être anticipés. Il y a donc une incertitude liée à la météorologie, qui développe un risque, notamment sur les quantités et la qualité des récoltes. Il semble donc nécessaire de capturer le niveau d'incertitude, en se focalisant sur la variabilité des récoltes en termes de qualité et de quantité d'année en année, selon les régions et les cépages afin de trouver de solutions pour réduire ces variations et donc le risque. Ainsi, le but de ce travail est de présenter, analyser et tester la stratégie de diversification des cépages sur un période de quinze ans, afin de déterminer

si elle permet potentiellement d'atténuer le risque climatique, par la réduction des écarts de quantité et de qualité des récoltes.

Avec près de 240 cépages cultivés, la Suisse détient certainement le record mondial du nombre de cépages pour une aussi petite surface viticole (Swiss Wine, 2018). Cependant, 72% de la surface viticole sont couverts de quatre cépages, le Chasselas, le Pinot noir, le Gamay et le Merlot. Ce potentiel de diversification n'est donc que peu exploité. La présence d'une multitude de cépages en Suisse offre ainsi une opportunité de se diversifier davantage, en réduisant l'omniprésence de ces quatre cépages (Dürrenmatt, 2006). La diversification pourrait renforcer le capital financier, car une production trop spécialisée accroît le risque face au changement, et ainsi modifier les récoltes (Lereboullet, 2012). Enfin, les caractéristiques spécifiques au Valais, présentées ci-dessus, pourraient lui permettre de lutter contre les changements climatiques, notamment grâce à sa diversité variétale, de plus de 60 cépages, en établissant une stratégie d'encépagement adaptée. Cette stratégie lui permettrait de réagir face à l'évolution et les modifications des conditions climatiques en Valais.

3. Données

3.1. Sources de données

Les données quantitatives utilisées pour cette étude proviennent de plusieurs sources, de plusieurs plateformes, ainsi que de différents rapports, écrits par des branches de l'administration cantonale ou fédérale.

La première plateforme utilisée, Agrométéo, est une base de données regroupant des outils d'information permettant aux agriculteurs de prendre de meilleures décisions de gestion des menaces de l'agriculture. Son réseau est constitué de 150 stations météorologiques autonomes en Suisse, qui fournissent des données microclimatiques, permettant notamment la lutte contre les maladies fongiques et les ravageurs. Cette plateforme est un projet en Partenariat avec Agroscope. Les données météorologiques telles que les températures et l'humidité moyennes, minimales et maximales, les précipitations, le rayonnement et l'ensoleillement total par jour ont été extraites de cette plateforme. Les données plus spécifiques à la phénologie de la vigne, à l'évolution et aux dates clés du Chasselas, du Gamay, du Pinot Noir et du Merlot à Leytron ont aussi été extraites directement de cette plateforme pour la période de 2003 à 2017. Ces données ont été complétées à l'aide de la plateforme prévision-météo.ch, accessible à tous, et d'IDAweb, une plateforme mise à disposition par MétéoSuisse pour l'enseignement et la recherche.

Les données relatives aux quantités par kilogramme et par litre, et à la qualité par les brix et oechsles moyens, par cépages et par communes, de 2003 à 2017, sont tirées des rapports de vendanges, rédigés et fournis chaque année par le Laboratoire cantonal du valais. De ces fichiers sont également retenues les spécificités climatiques propres à chaque millésime comme le gel, la grêle, l'apparition de maladies et d'anomalies diverses, et les tendances des températures.

Enfin, les rapports annuels concernant les années vitivinicoles, écrits par l'Office cantonale de la viticulture, et les rapports annuels d'analyses statistiques économiques des vins suisses détaillées par canton, fournis par l'Office fédérale de l'agriculture, ont permis de compléter certaines données manquantes.

Diverses données qualitatives ont été collectées auprès de différents professionnels, œnologues, directeurs de cave ou autres titres en lien avec l'industrie du vin, à travers des discussions téléphoniques et des rencontres physiques, organisées ou lors d'évènements. Ces intervenants²⁵ ont permis de comprendre de manière plus concrète et réaliste les conséquences des changements climatiques, leurs impacts dans l'industrie et dans la gestion de crises, les limites applicables des modèles proposées ainsi que les implications managériales.

3.2. Présentation des millésimes

Cette section présente les conditions et accidents climatiques des millésimes 2003 à 2017. Le premier paragraphe montre une vision globale de leurs tendances climatiques au cours du cycle végétatif, puis les paragraphes suivants présentent les spécificités et accidents climatiques propres à chaque millésime.

Le Tableau 3 résume les températures moyennes et les précipitations durant les cinq phases importantes du Pinot noir, à savoir le débourrement, l'apparition des grappes, le développement de la fleur, la véraison, et les vendanges, pour les millésimes 2003 à 2017 à Leytron²⁶. Les moyennes des températures moyennes, minimales et maximales, les précipitations totales et le rayonnement de tout le cycle végétatif, d'avril à septembre, de chaque millésime, sont également présentés. On remarque que les millésimes ont tendance

²⁵ Les noms des différents intervenants ne figurent pas ici, car certains sont présentés en note de bas de page au cours du texte, et d'autres ont préféré rester anonymes.

²⁶ Commune valaisanne située entre Sion Martigny et importante pour sa viticulture

à être globalement stables, ce qui suggère que les spécificités de chaque millésime proviennent plutôt des accidents climatiques. 2003 apparaît comme le millésime le plus chaud (9% au-dessus de la moyenne) et le plus sec (53% au-dessous de la moyenne), 2007 le plus humide en termes de précipitations (49% au-dessus de la moyenne) et 2013 le plus froid (entre 4% et 6% au-dessous de la moyenne).

Insérez le Tableau 3 ici.

2003 a été un millésime hors norme. En effet, les grappes ont souffert de la sécheresse et de la canicule, bien qu'elles les aient protégées de la pourriture grise. Ces phénomènes ont provoqué des vendanges précoces, à la mi-août déjà pour certaines régions et cépages, et les raisins atteignent des degrés de maturité record, avec des teneurs en sucre supérieures de 3° aux dix précédentes années. Le rendement a été modeste, mais la qualité a pris le dessus sur la quantité (Laboratoire cantonal, 2003).

2004 a été un millésime idéal, sans accident climatique, sec mais assez chaud, avec un beau mois de septembre. Les maturités ont été optimales et les quantités récoltées correspondent à la moyenne des dix dernières années. Les stades phénologiques se sont déroulés de façon régulière. Les vendanges ont commencé la deuxième semaine de septembre et se sont étendues jusqu'à mi-octobre selon les cépages. Les récoltes et les acidités sont supérieures à 2003, et les vins sont de bonne garde (Laboratoire cantonal, 2004).

Durant l'année 2005, certains vignobles ont souffert du gel de printemps dans le Valais Central, ce qui a provoqué une baisse des récoltes. Cependant, le climat clémente de l'automne a permis d'atteindre de bonnes maturités puisque les vignerons ont eu le temps de choisir la date de récolte adéquate. Les vins sont très équilibrés en termes d'acidité et de maturité, et promettent une bonne garde (Laboratoire cantonal, 2005).

De nombreuses régions en Suisse ont connu des difficultés durant le millésime 2006, à cause de vendanges humides. Néanmoins, le foehn a protégé le Valais, en séchant rapidement les grappes, empêchant la pourriture grise de s'installer. Le mois de juillet s'est déroulé dans des conditions idéales. Les vendanges ont débuté la seconde semaine de septembre, et ont continué jusqu'à la mi-octobre pour les cépages plus tardifs, dans de bonnes conditions, avec des journées chaudes et des nuits fraîches. Les teneurs en sucres sont élevées et les vins sont constitués d'une belle acidité. « Concentration et équilibre » définissent ce millésime (Laboratoire cantonal, 2006).

2007 a été un millésime exigeant pour les viticulteurs. Les températures ont été anormalement élevées en avril, ce qui a provoqué un début précoce du cycle végétatif. Puis un été gris et un mois d'août pluvieux ont ralenti le développement des stades phénologiques. La présence du mildiou²⁷ a fortement menacé les feuilles des différents plants. Finalement, un automne chaleureux et sec a permis aux grappes de se rééquilibrer, atteignant ainsi les bonnes maturités. Les récoltes ont été inférieures, mais la qualité était présente (Laboratoire cantonal, 2007).

2008 fût intense en émotion, avec un mois de mai anormalement chaud, suivi d'un mois de juin frais, provoquant des coulures et du millerandage. Un mois de septembre mitigé a favorisé l'apparition de pourriture grise, finalement compensé par un magnifique mois d'octobre. Les vignobles ont été endommagés par de violentes rafales de vent en mai, des épisodes de grêles localisés en juin et une forte pression du mildiou et de l'oïdium²⁸. Les quantités ont été relativement faibles, mais les récoltes sont saines, bien que la maturation des baies ait été lente. Les vendanges se sont étendues sur cinq à six semaines, depuis la fin septembre jusqu'au début novembre (Laboratoire cantonal, 2008).

²⁷ Maladie causée par un champignon minuscule qui attaque les feuilles

²⁸ Champignon parasite blanchâtre qui attaque les parties vertes et épuise la vigne.

2009 demeure un millésime exceptionnel, caractérisé par des quantités supérieures à la moyenne décennale, des maturités idéales et une qualité sanitaire irréprochable. Le climat a été sec, de mi-août jusqu'à mi-octobre, ce qui a permis de vendanger dans des conditions exceptionnelles (Laboratoire cantonal, 2009).

Le millésime 2010 a été perturbé par de nombreuses et violentes variations climatiques durant le cycle végétatif. La sécheresse et des températures trop élevées ont caractérisé le mois d'avril, puis les deux premières semaines de mai furent fraîches avec des précipitations élevées, trois fois supérieures à la norme établie sur 30 ans (1961-1990). Une deuxième période de fraîcheur s'est établie à la mi-juin, avant de revenir à des températures d'été habituelles. A nouveau, les conditions idéales de septembre et octobre accompagnées d'un léger foehn ont permis aux grappes d'atteindre les maturités et de vendanger des récoltes saines. Les quantités restent tout de même faible, comparables au millésime 2007 (Laboratoire cantonal, 2010).

Le millésime 2011 est caractérisé par une précocité du développement de la vigne. Le mois d'avril a été anormalement chaud, suivi d'une longue période estivale et sèche. En juillet, les températures se sont rafraîchies et les précipitations ont augmenté. Août a été accompagné d'un foehn qui a accéléré la concentration des sucres. Les vendanges se sont déroulées sous le soleil à la mi-septembre, les récoltes ont été de bonne qualité et supérieures à la moyenne décennale (Laboratoire cantonal, 2011).

2012 a vu un débourrement rapide de la vigne, dû à un mois de mars exceptionnellement doux, avec des températures supérieures de 3°C par rapport à la moyenne des trois dernières décennies, précédé d'un mois de février très froid. Le cycle végétatif a stagné au mois d'avril, puis mai a été touché par un gel de printemps qui a ravagé 150 hectares de vignes. Le mois de juin a été très humide, provoquant des coulures et du millerandage et augmentant la pression de l'oïdium. Juillet et août se sont déroulés

normalement, mais la maturation s'est faite lentement et les vendanges n'ont débuté officiellement que le 24 septembre, avec des quantités inférieures à la moyenne décennale (Laboratoire cantonal, 2012).

Le millésime 2013 a été caractérisé comme la plus petite récolte depuis 50 ans, comptant une baisse de 13% par rapport à 2012. Un printemps maussade a ralenti le développement du cycle végétatif de la vigne et a provoqué de nombreuses coulures et du millerandage. Juillet et août ont été optimaux, malgré des rafales de vents et de grêles localisées. L'été fût le cinquième été national le plus chaud depuis 1864 selon MétéoSuisse. Les conditions de septembre ont favorisé une maturation lente des baies, provoquant un début de vendanges au 7 octobre, le plus tardif depuis 1955. Les vins contiennent des acidités élevées et les typicités propres aux cépages sont très développées (Laboratoire cantonal, 2013).

2014 a bénéficié d'un magnifique été indien, après un été instable et pluvieux fortement menacé par l'oïdium et par l'apparition de la drosophila suzukii. Cependant, les conditions climatiques favorables de septembre à octobre ont permis de rectifier les anomalies et garantir un millésime de qualité, avec des teneurs en sucre inférieures à la moyenne décennale. Les vendanges ont débuté le 26 septembre et un travail important de sélection et de tri des grappes a été minutieusement effectué par les vigneron. Les récoltes ont donc été inférieures à la moyenne de dix dernières années (Laboratoire cantonal, 2014).

L'été exceptionnel de 2015 a permis aux vignobles valaisans de bénéficier de vendanges de très belle qualité. Le début du cycle végétatif a été légèrement retardé par rapport à la moyenne décennale. Les précipitations du mois de mai ont été deux fois plus élevées que la norme à Sion. Le mois de juin a été chaud et humide. L'été, chaud et sec, a limité l'apparition de maladies. La véraison a débuté en avance sous une sécheresse du mois de juillet. Ces précocités ont provoqué un avancement du début des vendanges au 8

septembre, accompagnées d'un climat ensoleillé et sec, propice à une belle récolte. La teneur en sucre est légèrement supérieure à la moyenne des dix dernières années, mais les récoltes restent modestes (Laboratoire cantonal, 2015).

Les vins provenant du millésime 2016 sont caractérisés de « frais, élégants et fins ». Le début du cycle a évolué sous des températures fraîches et des précipitations abondantes ce qui a retardé la floraison. Il a fallu lutter contre la présence de maladies fongiques comme le mildiou. A partir du mois de juillet, les températures sont devenues chaudes et le climat sec, équivalant à une période de canicule, a exigé des vignerons une bonne gestion de l'irrigation. Les vendanges ont finalement débuté le 26 septembre et leur durée a été prolongée pour obtenir toutes les maturités désirées. Les récoltes ont enfin été généreuses, avec une augmentation de 7.5% de la moyenne décennale (Laboratoire cantonal, 2016).

2017 s'est révélé être un millésime hors norme. L'année a commencé par un mois de janvier glacial, le plus froid depuis 30 ans, suivi d'un mois de mars anormalement chaud, provoquant la précocité du début du cycle végétatif. Avril a subi le gel de printemps provoquant des dégâts importants dans le vignoble déjà bien développé. Puis un mois de juin très chaud a été bénéfique pour le développement d'un feuillage sain. Le 1^{er} août a été marqué par des grêles intenses et localisées, mais ce mois a, par la suite, été globalement chaud et favorable au vignoble. Les vendanges ont débuté le 11 septembre dans de bonnes conditions, promettant des vins de qualité malgré les petites grappes. La récolte a cependant été faible: 30% inférieure à la moyenne décennale (Laboratoire cantonal, 2017).

Les accidents climatiques sont résumés par année dans l'illustration 3, afin d'identifier rapidement les millésimes qui ont souffert de conditions climatiques difficiles.

Insérez l'illustration 3 ici.

3.3. Echantillon et statistiques descriptives

L'échantillon utilisé pour l'analyse empirique est constitué de 16 cépages, 25 communes et 15 millésimes (de 2003 à 2017). Les 16 cépages, présentés dans le Tableau 4, ont été sélectionnés selon leur surface moyenne (>39 hectares) et couvrent le 95% de la surface totale valaisanne des cépages. Cette sélection représente une bonne diversité, puisque les répartitions entre les cépages précoces et tardifs, blancs et rouges, allogènes et indigènes s'équivalent.

Insérez le Tableau 4 ici.

De même, les 26 communes retenues dans l'échantillon, présentées dans le Tableau 5, ont été sélectionnées par leur surface supérieure à 50 hectares et représente le 85% de la surface totale de l'ensemble des communes viticoles.

Insérez le Tableau 5 ici.

Cette sélection permet de rester représentatif et de réduire le biais des cépages et/ou communes trop anecdotiques. Ensuite, une vérification manuelle a été effectuée afin d'identifier, de corriger ou de retirer les erreurs potentielles de la base de données. Des filtres ont ensuite été appliqués selon les variations par rapport à la médiane pour contrôler les valeurs aberrantes et fixer des seuils de validité. L'échantillon final contient ainsi 5'697 observations.

3.4. Définitions des variables

Les variables dépendantes utilisées dans l'analyse empirique permettent de capturer les écarts de récoltes par rapport à la norme²⁹ en termes de quantité et de qualité, puisqu'ils représentent les deux aspects agro-économiques importants de l'industrie du vin (Wolkovich et al., 2018). De plus, ils reflètent généralement une incertitude, liée aux risques. Comme le

²⁹Norme calculée sur les 15 années étudiées, soit de 2003 à 2017.

sujet de ce travail se fonde sur l'étude d'une stratégie de gestion du risque climatique, l'utilisation des quatre formules construites ci-dessous, basés sur les écarts de quantité et de qualité des récoltes, semble pertinente pour effectuer l'analyse.

Les deux premières variables représentent les variabilités de la quantité. L'écart est défini par la variation de la quantité récoltée en kilogramme et en litre par rapport à la norme par les deux formules respectives suivantes :

$$\Delta KILO_t^{c,v} = \frac{KILO_t}{\overline{KILO}} \left(\frac{SurfVill_t}{\overline{SurfVill}} \cdot \frac{SurfCep_t}{\overline{SurfCep}} \right) - 1$$

$$\Delta LITR_t^{c,v} = \frac{LITR_t}{\overline{LITR}} \left(\frac{SurfVill_t}{\overline{SurfVill}} \cdot \frac{SurfCep_t}{\overline{SurfCep}} \right) - 1$$

où c représente le cépage, v représente la commune, t indique le millésime, $KILO_t$ représente la quantité récoltée en kg au temps t , $LITR_t$ représente la quantité récoltée en litre au temps t , $SurfVill_t$ représente la surface viticole totale de la commune au temps t , $SurfCep_t$ représente la surface viticole totale du cépage au temps t , $\overline{KILO} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T KILO_t$,

$\overline{LITR} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T LITR_t$, $\overline{SurfVill} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T SurfVill_t$, $\overline{SurfCep} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T SurfCep_t$. La

partie entre parenthèse représente un ajustement effectué afin de rendre les millésimes comparables. En effet, il est possible que les surfaces en hectares d'une ou plusieurs communes viticoles, et/ou d'un ou plusieurs cépages aient changé d'une année à l'autre, ce qui pourrait biaiser l'analyse et rendre les résultats finaux incorrects. Cette partie supplémentaire, ajoutée au calcul de base de la variation, permet de tenir compte de ce problème potentiel.

La troisième et la quatrième variable représentent les variations dans la qualité. L'écart est défini par la variation du brix³⁰ moyen et de l'oechslé³¹ moyen par les deux formules respectives suivantes:

$$\Delta BRIX_t^{c,v} = \frac{BRIX_t}{\overline{BRIX}} - 1$$

$$\Delta OECH_t^{c,v} = \frac{OECH_t}{\overline{OECH}} - 1$$

Où c représente le cépage, v représente la commune, t indique le millésime, $BRIX_t$ représente le brix moyen de la récolte au temps t , $OECH_t$ représente l'oechslé moyen de la récolte au temps t , $\overline{BRIX} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T BRIX_t$, $\overline{OECH} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T OECH_t$. Cette variable est une mesure imparfaite de la qualité, puisque le sucre n'en reflète qu'une partie. En effet, la qualité est définie par la teneur en sucres, le taux d'acidité, le pH du moût, et d'autres composants spécifiques³². Néanmoins, ces données spécifiques sont difficiles à obtenir de façon valide, d'où la raison de ne prendre en compte que la teneur en sucre pour cette analyse.

4. Analyse empirique

L'objectif principal de l'étude consiste à examiner si la diversification des cépages pourrait être un moyen efficace de gestion du risque des changements climatiques sur la quantité et la qualité des récoltes. Le développement de cette étude se divise en quatre étapes principales. La première étape consiste à analyser les fluctuations de la quantité et de la qualité des récoltes d'une année à l'autre et s'il existe, effectivement, des variations entre les

³⁰ Mesure, la plus utilisée à l'international, qui permet de mesurer la fraction de sucre dans un liquide.

³¹ Mesure, la plus utilisée en Suisse, qui exprime de combien de grammes un litre de moût est plus lourd qu'un litre d'eau.

³² Tels le pH du jus/moût, le niveau d'anthocyanes et la concentration en arginine (Wolkovich et al., 2018).

millésimes. Un graphique sera réalisé afin de souligner les tendances des millésimes en termes de variation de quantité, en kilogramme et en litre, et de qualité, en brix moyen et oechsle moyen, en se basant sur les quatre variables présentées précédemment.

La deuxième étape permet d'identifier si les conditions et les accidents climatiques affectent réellement la quantité et la qualité des récoltes. Une régression multivariée des variations de la quantité et de la qualité, sur un ensemble de quatre variables muettes associées aux accidents climatiques (le gel, le mildiou, la drosophila suzukii et la pourriture grise) et trois variables continues associées aux conditions météorologiques (les températures moyennes, l'ensoleillement total et les précipitations totales durant le cycle végétatif) permettra de valider l'impact réel de ces variables sur les variations étudiées.

La troisième étape se focalise sur l'identification des sources des variations de quantité et de qualité afin de déterminer si elles sont causées par les millésimes, les communes ou les cépages, puis, de mesurer les réactions des différents cépages face aux conditions climatiques. Une régression multivariée des carrés des variations de quantité et de qualité, permettra de déterminer les variables (millésimes, communes et cépages) causant les écarts.

Finalement, la dernière étape examine comment la diversification des cépages impacte les variations de quantité et de qualité des récoltes et s'il existe une possibilité d'élaborer des portefeuilles, construits avec plusieurs cépages, afin de réduire la sensibilité au climat.

4.1. Variation des quantités et de la qualité dans le temps

La Figure 1 suggère que les variations de quantité et de qualité peuvent être mises en relation avec les accidents climatiques. En effet, 2003 et 2017, des millésimes affectés par des conditions climatiques extrêmes, respectivement la canicule et le gel, exposent des

baisses considérables de quantités récoltées. En revanche, des millésimes de conditions optimales montrent une hausse importante de la quantité, comme cela fût le cas en 2016. De plus, les millésimes peu touchés par ces accidents semblent rester plutôt stables, comme l'indique le graphique sur la période de 2007 à 2012. Ce graphique montre également une relation négative entre les variations de quantité et de qualité. Cela implique que les conditions météorologiques propres à un millésime tendent à avoir un effet inverse sur la quantité et la qualité: il paraît difficile d'agir sur une variable sans affecter l'autre inversement. Les résultats de la première analyse démontrent donc qu'il existe des variations considérables de quantité et de qualité des récoltes entre les différents millésimes. De plus, les variations de quantité en kg et en litre semblent suivre les mêmes tendances, et le même effet apparaît pour les variations de qualité en brix et en oechsle. Ainsi, seules les variations de quantité en kg et les variations de qualité en brix³³ seront commentées dans la suite de ce travail.

Insérez la Figure 1 ici.

4.2. Lien entre les conditions climatiques, et la quantité et la qualité des récoltes

Le modèle de régression multivariée utilisé pour cette étape est défini par l'équation suivante:

$$y_t^{c,v} = \alpha + \sum_{i=1}^4 \beta_i Acc_{i,t} + \sum_{j=1}^3 \gamma_j Clim_{j,t} + \varepsilon_t^{c,v}$$

Où y est respectivement $\Delta KILO$, $\Delta LITR$, $\Delta BRIX$ ou $\Delta OECH$ par cépages c et par commune v au temps t , $Acc_{i,t}$ représente les variables muettes de chaque accident climatique i au temps t qui prennent la valeur de 1 lorsque l'accident a eu lieu et de 0 s'il était absent de la période

³³ Le choix du brix semble justifier puisqu'il s'agit du plus utilisé à l'international, bien que l'oechsle soit le plus utilisé en Suisse.

et $Clim_{j,t}$ représente les variables continues de chaque mesure des conditions météorologiques j au temps t ;

α : Constante ;

β_i : Coefficient associé aux variables muettes de chaque accident climatique i ;

γ_j : Coefficient associé aux variables continues de chaque mesure des conditions météorologiques j ;

$\varepsilon_t^{c,v}$: Résiduels de la régression.

L'analyse du Tableau 6 démontre que le gel n'a pas d'impact significatif sur la qualité, mais que son influence est considérable sur la quantité, puisque sa p-value est significative. Concernant les autres variables, certaines ont peu d'effets sur la quantité, comme le mildiou ou la pourriture grise, tandis qu'en termes de qualité, la quasi-totalité des coefficients sont significatifs. Une différence ressort à nouveau entre la qualité et la quantité, puisque les coefficients de quantité et de qualité sont négativement reliés. Globalement, bien que les R-carrés des régressions sur les variations de quantité et de qualité soient relativement faibles (respectivement $R^2 = 0.13$ et 0.28), les p-values de la plupart des variables sont significatives. Les résultats de la régression indiquent donc que les conditions et les accidents climatiques impactent significativement la quantité et, surtout, la qualité. Ce modèle permet donc de valider la relation entre ces éléments.

Insérez le Tableau 6 ici.

4.3. Sources des variations et corrélations

Cette étape est divisée en deux parties: la première étape consiste à analyser les sources de variations de quantité et de qualité, afin de déterminer le rôle du millésime, du cépage et de la commune; la seconde permet d'identifier les comportements et réactions de chaque cépage face aux changements climatiques et d'analyser s'ils diffèrent.

La première étape est élaborée par une régression sur les carrés des variations de quantité et de qualité. Le fait de prendre les carrés permet de se focaliser sur la variabilité, en se rapprochant approximativement de la variance et ainsi capturer le niveau d'incertitude, liée au risque. La régression est définie par le modèle suivant :

$$(y_t^{c,v})^2 = \alpha + \sum_{t=2003}^{2017} \beta_t Mill_t + \sum_{i=1}^I \gamma_i Com_i + \sum_{j=1}^J \delta_j Cep_j + \varepsilon_t^{c,v}$$

Où y est respectivement $\Delta KILO$, $\Delta LITR$, $\Delta BRIX$ ou $\Delta OECH$ par cépages c et par commune v au temps t , $Mill_t$ représente chaque millésime t , Com_i représente chaque commune i et Cep_j représente chaque cépage j ;

α : Constante ;

β_t : Coefficient associé à chaque millésime t ;

γ_i : Coefficient associé à chaque commune i ;

δ_j : Coefficient associé à chaque cépage j ;

$\varepsilon_t^{c,v}$: Résiduels de la régression.

La référence, utilisée pour ce modèle, est constituée du millésime 2010, car il s'agit d'un millésime intermédiaire, ni trop touché par les conditions et accidents climatiques, ni exceptionnel en terme de récoltes; la commune de Chamoson, car elle demeure la plus grande commune vitivinicole valaisanne; et le cépage Pinot Noir, car il est le plus planté en Valais.

Le Tableau 7 montre que les communes ne peuvent être considérées ni comme une source de variabilité des quantités, ni de la qualité, puisque la totalité des p-values en termes de quantité et la grande majorité des p-value en termes de qualité ne sont pas significatives. En revanche, les millésimes frappés d'accidents climatiques, comme 2003 et 2017, impactent de manière significative les variations en termes de quantité. Par ailleurs, près de

la totalité des cépages influence significativement les variations de qualité; et les spécialités, comme le Cornalin ou l'Heida/Païen, semblent influencer de façon plus significative les variations de quantité, que les cépages traditionnels, tels que le Chardonnay. De plus, bien que les R-carrés soient à nouveau relativement faibles, respectivement pour les variations de quantité et de qualité ($R^2 = 0.23$ et 0.11), de nombreuses p-value sont significatives ($p < 0.01$) et impliquent que les résultats obtenus sont valides et peuvent être interprétés. Ainsi les résultats de la régression démontrent que les millésimes et les cépages impactent significativement les variations de la quantité et de la qualité des récoltes.

Insérez le Tableau 7 ici.

La deuxième étape consiste en l'analyse des corrélations entre les cépages au sein d'une même commune, pour déterminer si leurs comportements diffèrent ou s'ils réagissent de façon similaire aux changements climatiques. En effet, les réactions des cépages doivent différer pour qu'un effet de diversification soit possible. Le Tableau 8 montre que les coefficients de corrélation entre les cépages en termes de variations de quantité semblent être plutôt bas, exceptés certaines corrélations de cépages traditionnels comme Gamay-Chasselas ($r = 0.89$) ou Pinot noir-Chasselas ($r = 0.79$).

Insérez le Tableau 8 ici.

Dans le Tableau 9, les coefficients de corrélations entre les cépages en termes de qualité montrent également des comportements qui diffèrent et tendent même à être encore plus bas que les coefficients en termes de quantité.

Insérez le Tableau 9 ici.

De plus, une majorité des coefficients dans les deux cas, quantité et qualité, reste positive, ce qui suggère la présence potentielle d'un effet de diversification sur la quantité et la qualité des récoltes.

Finalement, les résultats obtenus lors ces deux étapes, à savoir la présence de variations de quantité et de qualité dues au type de cépages et une corrélation imparfaite entre les cépages suggèrent qu'il existe un potentiel effet de diversification.

4.4. Création de portefeuilles

Cette dernière étape identifie l'efficacité d'une stratégie de gestion du risque climatique, basé sur le concept financier de la diversification. Dans cette étude, la diversification testée se fait par cépage. La création de portefeuille de cépages permet d'examiner si la diversification des cépages réduit le risque des variations de quantité et de qualité sur les récoltes. Pour cela, trois portefeuilles ont été créés, en se basant sur le calcul des écarts-types des écarts, afin d'identifier l'intérêt de chaque cépage au sein des portefeuilles, et de déterminer lesquels permettent de minimiser la variance. Tous les cépages présents portent le même poids dans les portefeuilles. Ces portefeuilles peuvent contenir entre un cépage au minimum (le portefeuille le moins diversifié) à seize cépages au maximum (le portefeuille le plus diversifié). Toutes les combinaisons, incluant des cépages rouges et/ou blancs, ont été analysées dans le but de déterminer l'effet de diversification maximum, minimum, moyen et médian pour un portefeuille avec un certain nombre donné de cépages. Cette analyse se base sur le Valais, puisque la diversification reste courante dans ce canton, la plupart des producteurs produisant entre huit et douze cépages en moyenne³⁴.

Le premier portefeuille créé est constitué uniquement de cépages blancs. Dans la Figure 2, le portefeuille à variance maximale représente les combinaisons de cépages à éviter, puisqu'ils vont à l'encontre du but recherché. En revanche, les combinaisons de cépages répartis de façon aléatoire et non-volontaire au sein du portefeuille reflètent un effet

³⁴ Ce chiffre est une approximation, basé sur l'analyse d'une multitude de caves et de leurs cépages.

de diversification considérable. En effet, l'effet de l'ajout d'un cépage dans le portefeuille permet de réduire de près de moitié le risque de variations de quantité, mais aussi de qualité.

Insérez la Figure 2 ici.

Cependant, cette différence entre la quantité et la qualité se fait à nouveau ressentir. En effet, en cherchant à minimiser la variance du portefeuille, les cépages appropriés seront différents du point de vue de la variation de la quantité ou de la qualité. Par exemple, pour un portefeuille à trois cépages à variance minimale en termes de quantité, les cépages optimaux seront le Chasselas, la Petite Arvine et le Rhin/Sylvaner, alors que pour un portefeuille à trois cépages à variance minimale en termes de qualité, les cépages optimaux seront le Chardonnay, la Petite Arvine et le Rhin/Sylvaner. Toutes les combinaisons optimales pour minimiser la variance de ce portefeuille sont détaillées dans le Tableau 10.

Insérez le Tableau 10 ici.

Le second portefeuille créé, totalement différent du premier, est constitué uniquement de cépages rouges. Dans la Figure 3, l'effet de diversification ressort à nouveau considérablement. L'ajout d'un cépage dans le portefeuille permet également de réduire de moitié le risque de variations de quantité, mais aussi de qualité.

Insérez la Figure 3 ici.

Comme avec le portefeuille constitué uniquement de cépages blancs, il est impossible de se focaliser sur les deux variables quantité et qualité en même temps, puisque les cépages optimaux pour minimiser la variance du portefeuille diffèrent. Toutes les combinaisons optimales pour minimiser la variance de ce portefeuille sont détaillées dans le Tableau 11.

Insérez le Tableau 11 ici.

Le troisième portefeuille est constitué d'une combinaison du portefeuille de cépages blancs et du portefeuille de cépages rouges. Dans la Figure 4, l'effet de diversification ressort de manière encore plus prononcée qu'avec les deux premiers portefeuilles. L'ajout d'un cépage dans le portefeuille permet de réduire de plus de la moitié les variations de quantité et de qualité.

Insérez la Figure 4 ici.

Comme vu avec les deux portefeuilles précédents, il est à nouveau difficile de se focaliser sur les deux variables quantité et qualité en même temps. Néanmoins, il n'est pas négligeable de considérer d'avoir un ensemble de cépages blancs et de cépages rouges dans son portefeuille afin de rendre cet effet de diversification encore plus profitable et de réduire le risque plus rapidement, avec moins de cépages. Par exemple, pour un portefeuille à 3 cépages à variance minimale en termes de quantité, les cépages optimaux seront le Chasselas, le Rhin/Sylvaner et l'Humagne rouge. En revanche, pour un portefeuille à 3 cépages à variance minimale en termes de qualité, les cépages optimaux seront le Chardonnay, le Rhin/Sylvaner et le Pinot noir. Toutes les combinaisons optimales pour ce portefeuille sont détaillées dans le Tableau 12.

Insérez le Tableau 12 ici.

5. Discussion

5.1. Résumé / Explication des résultats

Les résultats de l'étude indiquent qu'il existe un réel potentiel de diversification dans l'industrie vitivinicole comme outil de gestion du risque. En effet, la quantité et la qualité des récoltes varient d'année en année. De plus, un lien réel existe entre les conditions et les accidents climatiques, qui semblent impacter de manière significative la quantité et la qualité des récoltes et leurs variations. Ainsi, il semble nécessaire de comprendre quelles sont les sources de ces variations. Les résultats de la troisième étape suggèrent que les principaux acteurs responsables sont les cépages et les millésimes, et que les cépages réagissent de façon différente et partiellement indépendante face aux changements et conditions climatiques. Le potentiel effet de diversification qui en ressort semble soulever la question suivante: La diversification des cépages pourrait-elle être une stratégie gagnante de gestion du risque liée aux changements climatiques? La réalisation de la quatrième étape a permis de confirmer l'efficacité de cette stratégie, à travers la création de portefeuilles équilibrés et variés. La possibilité de réduire le risque de plus de la moitié apparaît à l'ajout d'un cépage supplémentaire dans le portefeuille. Cette option semble contenir tous les ingrédients nécessaires à la recette d'une stratégie d'adaptation et de réponse aux changements climatiques.

5.2. Implications managériales/ pratiques

La diversification des cépages semble donc être une potentielle stratégie de gestion du risque, car elle permet de réduire considérablement les variabilités de quantité et de qualité des récoltes. De façon plus générale, cultiver plusieurs cépages représente une source de flexibilité stratégique pour les vignerons et apparaît ainsi comme une option réellement intéressante. En effet, cette option semble être naturellement disponible; de plus, l'opportunité d'opter pour cette stratégie s'offre à tout moment pour les vignerons. Ils peuvent ainsi choisir de l'actionner lorsqu'ils se trouvent dans le besoin. De ce point de vue,

la Suisse semble être relativement en avance en comparaison de ses pays voisins tels que la France, l'Italie ou encore l'Allemagne, et pourrait donc servir de laboratoire afin d'enquêter sur le sujet de la diversification des cépages et de son impact sur les changements climatiques.

En effet, Monsieur José Vouillamoz³⁵ considère le Valais comme une « Terre à très grand crus », avec ses cépages indigènes. Il avait déjà émis l'hypothèse de la diversification des cépages, mais sous un angle marketing, en conseillant aux viticulteurs locaux de miser sur ces derniers, puisqu'ils sont les seuls à avoir l'opportunité de se démarquer. Il a conclu par suggérer que « Le salut de notre viticulture valaisanne – et plus largement suisse – passera par sa qualité et ses spécificités. » L'étude présentée dans ce travail confirme que la diversité offre un réel potentiel, pas seulement d'un point de vue marketing, mais aussi d'un esprit plus financier de gestion du risque.

De plus, Agroscope travaille déjà sur la fabrication de nouveaux cépages, ayant pour objectif d'améliorer leur résistance, notamment face aux maladies et ravageurs. Ils ont déjà créé des clones et des hybrides de variétés et d'espèces différentes, tel que le Gamaret qui semble sortir du lot pour sa résistance à la pourriture (botrytis). La résistance au Botrytis contribue fortement à la qualité, en particulier pour les vins rouges (Murisier & Paccot, n.d.). Ce cépage, découvert en 1970 (Office cantonale de la viticulture, 2018), a fait ses preuves et est actuellement utilisé en tant que père de nouveaux cépages test, comme le Cabernello (Cabernet franc x Gamaret), le merello (Merlot x Gamaret) ou encore le Cornarello (Humagne rouge x Gamaret) (Messerli, 2017). Cette tendance à la création de nouveaux cépages en expansion pourrait aussi être un moyen de lutter contre les changements climatiques. Il serait ainsi recommandé de continuer dans cette direction, en incluant plus en

³⁵ Docteur José Vouillamoz est un chercheur sur l'origine et la filiation des cépages à l'ADN, un professeur et un éducateur dans le domaine du vin, un membre de l'Académie Internationale du Vin, de l'Académie du Vin de Bordeaux et du Circle of Wine Writers.

profondeur les conditions climatiques dans leur recherche, ce qui permettrait d'augmenter la diversification et d'en saisir sa potentielle efficacité de gestion du risque climatique.

Finalement, les changements météorologiques poussent déjà certains viticulteurs et entreprises à l'international à se réorienter vers les cépages plus anciens. L'ancienneté de leur présence suggère que ces cépages s'adaptent mieux au terroir et particulièrement au période de sécheresse (Mahé, 2015). Mais, afin de valider l'efficacité de ce choix stratégique, il serait nécessaire de tester et vérifier la résistance et les caractéristiques de ces cépages sur le lieu et dans des conditions laborieuses avant de les insérer dans la stratégie de diversification proposée par ce travail.

6. Conclusion

Cette étude amène une stratégie réelle et efficace de gestion du risque climatique dans l'industrie vitivinicole. La diversification des cépages existe de façon naturelle et pourrait être utilisée afin de réduire considérablement les variations de quantité et de qualité des récoltes, dues notamment aux conditions et accidents climatiques.

Cependant, la qualité mesurée en termes de brix et d'oechslé moyens représente une mesure imparfaite de la qualité car le sucre constitue seulement un des composés de la qualité. Pour améliorer le modèle, il serait préférable de choisir comme variable un indice comprenant le sucre et l'acidité pour gagner en précision. Mais ces données sont difficiles à obtenir de façon homogène, valide et fiable.

Toutefois, cette stratégie semble parfaitement efficace et facile à implémenter en théorie. En pratique, il existe des limites à prendre en considération, telles que la compatibilité des cépages, la réputation et les coûts de production.

En effet, il ne suffit pas simplement de se diversifier en plantant aléatoirement les cépages. Il faut s'assurer, au préalable, que le cépage soit adapté au climat, à la zone et au sol. Il est donc nécessaire que l'emplacement convienne parfaitement au cépage avant de le planter, car la vigne vit plus d'une décennie et qu'il est déconseillé de planter et/ou replanter plusieurs fois (Gfeller, 2018). La science des sols et l'ampélographie³⁶ représentent ainsi des acteurs qui doivent agir en complémentarité avec l'option proposée dans cette étude. Il existe des guides d'implémentation dans plusieurs régions qui pourraient servir de base pour un vigneron qui souhaiterait modifier son encépagement afin d'appliquer la stratégie de gestion du risque, démontrée dans cette étude.

³⁶ Sciences descriptives de la vigne qui étudient les cépages

De plus, changer totalement l'encépagement d'une région réputée telle que Bordeaux ou la Bourgogne, pourrait avoir un effet néfaste sur sa réputation et son chiffre d'affaire. En effet, cela impliquerait le changement des habitudes du consommateur, qui pourrait refuser de s'adapter. Cela impliquerait une perte considérable de clients et donc une baisse de profit. L'image de la région, auparavant célèbre et incontestée, pourrait devenir négative.

Finalement, le frein principal à tout changement demeure le capital financier, que ce soit pour les producteurs ou pour les services d'agriculture (Lereboullet, 2012). Les coûts de production, de travail et de main-d'œuvre pourraient augmenter, car certains cépages demandent plus d'attention, de surveillance et de traitement que d'autres. La réponse de l'homme en termes d'investissement sur les capacités techniques et d'optimisation demeure ainsi importante pour mener de telles stratégies à bien (Duc³⁷, 2018).

Pour conclure, ce travail propose une stratégie pertinente d'adaptation au problème actuel et international des changements climatiques. Elle constitue le point de départ d'enquêtes supplémentaires plus approfondies et peut être mondialement applicable dans d'autres régions.

³⁷ Michel Duc est le directeur de la cave des Fils Mayes à Riddes

7. Références

- Agriculture Nouvelle. (2013). *Tout comprendre à la coulure et au millerandage*.
Disponible sur <https://www.agriculture-nouvelle.fr/tout-comprendre-coulure-et-millerandage/>
- Ashenfelter, O., Ashmore, D., & Lalonde, R. (1995). Bordeaux wine vintage quality and the weather. *Chance*, 8(4), 7-14. <https://doi.org/10.1080/09332480.1995.10542468>
- Ashenfelter, O., & Storchmann, K. (2010). Measuring the economic effect of global warming on viticulture using auction, retail, and wholesale prices. *Review of Industrial Organization*, 37(1), 51-64.
Disponible sur <http://www.nber.org/papers/w16037>
- Ashenfelter, O., & Storchmann, K. (2014). Wine and climate change. *American Association of Wine Economist*. No 152. Disponible sur <https://ideas.repec.org/p/ags/aawewp/164854.html>
- Ashenfelter, O., & Storchmann, K. (2016). Climate change and wine: A review of the economic implications. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 105-138.
<https://doi.org/10.1017/jwe.2016.5>
- Bindi, M., Fibbi, L., Gozzini, B., Orlandini, S., & Miglietta, F. (1996). Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine. *Climate research*, 213-224. Disponible sur http://www.jstor.org/stable/24864673?seq=1#page_scan_tab_contents
- Bloesch, B., & Viret, O. (2008). Stades phénologiques repères de la vigne. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, 40(6), 1-4. Disponible sur <http://www.agrometeo.ch/pheno/stade-pheno-poster-fr.pdf>

- Caffarra, A., Rinaldi, M., Eccel, E., Rossi, V., & Pertot, I. (2012). Modelling the impact of climate change on the interaction between grapevine and its pests and pathogens: European grapevine moth and powdery mildew. *Agriculture, ecosystems & environment*, 148, 89-101. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.017>
- Cahill, K. N., Lobell, D. B., Field, C. B., Bonfils, C., & Hayhoe, K. (2007). Modeling climate change impacts on wine grape yields and quality in California. *Global warming, which potential impacts on the vineyards*, 28-30. Disponible sur http://chaireunesco-vinetculture.u-bourgogne.fr/colloques/actes_clima/Actes/Article_Pdf/Cahill.pdf
- Canton du Valais. (2018). *Vignoble valaisan*. [en ligne]. Disponible sur: <https://www.vs.ch/web/sca/vignoble-valaisan> [Accès 31 Mars 2018].
- Caprio, J. M., & Quamme, H. A. (2002). Weather conditions associated with grape production in the Okanagan Valley of British Columbia and potential impact of climate change. *Canadian Journal of Plant Science*, 82(4), 755-763. <https://doi.org/10.4141/P01-160>
- Catry, B. (2010). *Stratégie vitivinicole valaisanne à l'horizon 2015*. Disponible sur : <http://docplayer.fr/612512-Strategie-vitivinicole-valaisanne-a-l-horizon.html>
- Cave La Romaine. (2018). Disponible sur : <https://cavelaromaine.com/>
- Chebil, A., Mtimet, N., & Tizaoui, H. (2011). Impact du changement climatique sur la productivité des cultures céréalières dans la région de Béja (Tunisie). *AfJARE*, 6(2), 144-154. Disponible sur <https://ideas.repec.org/a/ags/afjare/156981.html>
- Clos de Tsmphéro. (2018). Disponible sur <https://tsampehro.com/>
- Domaine Cornulus. (2018). Disponible sur : <http://cornulus.ch/fr/>

- Dugué, M. J., Delille, H., & Malgrange, S. (2012). Caractérisation des stratégies d'adaptation au changement climatique en agriculture paysanne. *Etude de capitalisation réalisée sur les terrains de coopération d'AVSF*, 50. Disponible sur <https://www.avsf.org/public/posts/700/caracterisation-des-strategies-d-adaptation-au-changement-climatique-en-agriculture-paysanne.pdf>
- Dürrenmatt, S. (2016). Cépages: l'or ancestral du Valais. *Coopération*. Disponible sur http://www.cooperation.ch/Zoom+1642_
- Emery, S. (2001). *Enquête sur l'avenir de la viticulture dans les régions alpines*. Sion: Etat du Valais.
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2013). Future scenarios for viticultural zoning in Europe: ensemble projections and uncertainties. *International Journal of Biometeorology*, 57(6), 909-925. <https://doi.org/10.1002/fes3.14>
- FranceAgriMer. (2012). *Achats de vins tranquilles par les ménages français pour leur consommation à domicile*. Paris: FranceAgriMer
- Holland, T., & Smit, B. (2010). Climate change and the wine industry: current research themes and new directions. *Journal of Wine Research*, 21(2-3), 125-136. <https://doi.org/10.1080/09571264.2010.530095>
- Iglesias, A., Quiroga, S., Moneo, M., & Garrote, L. (2012). From climate change impacts to the development of adaptation strategies: challenges for agriculture in Europe. *Climatic Change*, 112(1), 143-168. <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/456306>
- Jones, G. V. (2004). Climate change in the western United States grape growing regions. In *VII International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology*, 689, (41-60). doi: 10.17660/ActaHortic.2005.689.2

Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R., & Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic change*, 73(3), 319-343. doi : 10.1007/s10584-005-4704-2

Jones, G. V., & Webb, L. B. (2010). Climate change, viticulture, and wine: challenges and opportunities. *Journal of Wine Research*, 21(2-3), 103-106.
<https://doi.org/10.1080/09571264.2010.530091>

Laboratoire cantonal. (2003 à 2017). *Rapport des vendanges*. Canton du Valais. Disponible sur <https://www.vs.ch/web/scav/rapports-des-vendanges-2>

Lereboullet, A. L. (2012). Améliorer la capacité d'adaptation des agrosystèmes viticoles : apports complémentaires de la climatologie et des sciences sociales. *Research Gate*. Disponible sur <https://www.researchgate.net/publication/>

Les Vins du Valais. (2018). *Les vins et cépages du Valais*. Disponible sur: <http://www.lesvinsduvalais.ch/encaveur/vins-cepages-valais.html>

Loko, Y. L., Dansi, A., Agre, A. P., Akpa, N., Dossou-Aminon, I., Assogba, P., ... & Sanni, A. (2013). Perceptions paysannes et impacts des changements climatiques sur la production et la diversité variétale de l'igname dans la zone aride du nord-ouest du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(2), 672-695. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i2.23>

Lorente, R. (2002). La mort, la désolation et déjà des interrogations. *La Dépêche du Midi*. Disponible sur : <https://www.ladepeche.fr/article/2002/09/11/358241-la-mort-la-desolation-et-deja-des-interrogations.html>

Lough, J. M., Wigley, T. M. L., & Palutikof, J. P. (1983). Climate and climate impact scenarios for Europe in a warmer world. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22(10), 1673-1684. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1983\)022<1673:CACISF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1983)022<1673:CACISF>2.0.CO;2)

- Mahé, H. (2015). *Préservation et valorisation des cépages rares des régions nord-méditerranéennes*. [Mémoire de fin d'étude] Disponible sur http://www.supagro.fr/fondation/wa_files/Preservation_et_valorisation_cepages_autochtones_HMahe.pdf
- Mémoire des Vins Suisses. (2018). *Producteurs Valais*. Disponible sur : <http://www.mdvs.ch/fr/producteurs/valais/provins.html>
- Messerli, B. (2017). Sudisme dans les nouveaux cépages développés par la station Agroscope. *Agrihebd*. Disponible sur : <https://www.agrihebd.ch/sudisme>.
- Mullen, T. (2018). Why Swiss Wines Continue To Impress. *Forbes*. Disponible sur <https://www.forbes.com/sites/tmullen/2018/05/03/why-swiss-wines-continue-to-impress/#59402ae825d5>
- Murisier, F., & Paccot, R. (n.d.). Le nouveau cépage GAMARET: *Aptitudes agronomiques et qualité des raisins et vins*. Disponible sur <http://www.academia-vinhaevinho.com/ckfinder/userfiles/files/ch%202005%2012%2020a.pdf>
- Observatoire des vins en grande distribution en Suisse. (2015). *Situation au 31 mars 2015*. Sion: Etat du Valais
- Office cantonale de la viticulture. (2010 à 2017). *Année vitivinicole*. Canton du valais. Disponible sur : <https://www.vs.ch/web/sca/rapports>
- Office fédérale de l'agriculture. (2003 à 2016). *L'année viticole*. Confédération suisse. Disponible sur : <https://www.blw.admin.ch/blw/fr/home/nachhaltige-produktion/pflanzliche-produktion/weine-und-spirituosen/weinwirtschaftliche-statistik.html>
- Ollat, N., & Touzard, J. M. (2014). Adaptation à long termes au changement climatique pour la viticulture et l'œnologie: un programme de recherche sur les vignobles français. *Revue des œnologues et des techniques vitivinicoles et*

œnologiques, 41(152), 11-12. Disponible sur https://www.vignevin-sudouest.com/publications/itv-colloque/assises-vins-sud-ouest/documents/changement-climatique-projet-laccave_000.pdf

Provins. (2018). *Découvrir Provins*. Disponible sur:

<https://www.provins.ch/fr/pages/decouvrir/provins/provins-169>

Pythoud, K. (2007). *Modélisation des paramètres mesoclimatiques du vignoble valaisan*.

EPFL. Disponible sur <https://www.vs.ch/web/sca/etude-des-terroirs>

Rives du Bisse. (2018). Disponible sur: <http://www.rivesdubisse.ch/>

Ruml, M., Vuković, A., Vujadinović, M., Djurdjević, V., Ranković-Vasić, Z.,

Atanacković, Z., & Petrović, N. (2012). On the use of regional climate models:

Implications of climate change for viticulture in Serbia. *Agricultural and forest*

meteorology, 158, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.02.004>

Sacchelli, S., Fabbriizzi, S., & Menghini, S. (2016). Climate change effects and adaptation

strategies in the wine sector: a quantitative literature review. *Wine Economics and*

Policy, 5(2), 114-126. <https://doi.org/10.1016/j.wep.2016.08.001>

Schultz, H. (2000). Climate change and viticulture: a European perspective on climatology,

carbon dioxide and UV-B effects. *Australian Journal of grape and wine*

research, 6(1), 2-12. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00156.x>

Schultz, H. R., & Jones, G. V. (2010). Climate induced historic and future changes in

viticulture. *Journal of Wine Research*, 21(2-3), 137-145.

<https://doi.org/10.1080/09571264.2010.530098>

Stock, M., Gerstengarbe, F. W., Kartschall, T., & Werner, P. C. (2004). Reliability of

climate change impact assessments for viticulture. In *VII International Symposium*

on Grapevine Physiology and Biotechnology, 689, 29-40.

doi:10.17660/ActaHortic.2005.689.1

- Swiss Wine. (2018). *Vignoble*. [en ligne]. Disponible sur <https://swisswine.ch/fr/vignoble/chiffres-cles> [Accès le 28. avril 2018].
- Tate, A. B. (2001). Global warming's impact on wine. *Journal of Wine Research*, 12(2), 95-109. <https://doi.org/10.1080/09571260120095012>
- Thurre, P. (1985). *Le Valais du Vin Terre Promise*. Sion, Valais: Robert Gilliard
- Van Leeuwen, C., Darriet, P., & Aquitaine, I. B. (2016). Le changement climatique en viticulture: les leviers d'adaptation au vignoble. *Assises des Vins du Sud-ouest*. Toulouse, France. 15-18. Disponible sur <http://www.vignevin-sudouest.com/publications/itv-colloque/documents/ppt-van-leeuwen.pdf>
- Webb, L. B. (2006). The impact of projected greenhouse gas-induced climate change on the Australian wine industry [PhD Thesis].
- Webb, L. B., Whetton, P. H., & Barlow, E. W. R. (2007). Modelled impact of future climate change on the phenology of winegrapes in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 13(3), 165-175. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2007.tb00247.x>
- Webb, L. B., Whetton, P. H., & Barlow, E. W. R. (2008). Climate change and winegrape quality in Australia. *Climate Research*, 36(2), 99-111. <https://doi.org/10.3354/cr00740>
- Wolkovich, E. M., de Cortázar-Atauri, I. G., Morales-Castilla, I., Nicholas, K. A., & Lacombe, T. (2018). From Pinot to Xinomavro in the world's future wine-growing regions. *Nature Climate Change*, 1. doi:10.1038/s41558-017-0016-6
- Zufferey, V., Pythoud, K., Letessier, I., Reynard, J. S., Monico, C., & Murisier, F. (2008). Etudes des terroirs viticoles suisses. *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, 40(6), 367. Disponible sur http://www.revuevitiarbohorti.ch/artikel/2008_06_f_509.pdf

Tableau 1 : Revue de littérature concernant les aspects environnementaux

Auteurs (année) <i>Journal</i>	Contexte et Objectifs	Données	Méthodologie	Aspects environnementaux et variations		
				Plants et cépages	Rendement / Qualité	Ravageurs et maladies
Schultz et Jones (2010) <i>Journal of Wine Research</i>	Le raisin est extrêmement sensible au climat. Objectif: élaboration de stratégies	- Températures par le Deustcher Wetterdienst (DDW) et le Aussenstelle Geisenheim - Acidité dans les rapports originaux de Dieter Hoppman, DDW	1. Analyse du climat et de la viticulture dans le passé 2. Analyse du climat et de la viticulture aujourd'hui et dans le futur 3. Implication pour le développement de la vigne et la composition des vins	Réaction différentes selon les variétés		
Fraga, Malheiro, Moutinho-Pereira, & Santos (2012) <i>Food and Energy Security</i>	Etude faite dans le cadre du projet ClimVineSafe – Stratégie d'adaptation à court terme pour faire face aux changements climatiques pour les vignobles méditerranéens	Plusieurs sources, n/a	1. Analyse de la phénologie du vin et influence climatiques 2. Projections des changements climatiques dans l'agriculture 3. Analyse du changement climatiques et de l'impact sur la viticulture 4. Elaboration des mesures d'adaptations et d'atténuation du phénomène 5. Décisions de variétés et de porte-greffes 6. Management d'irrigation 7. Traitement de la taille	Les stratégies d'adaptation peuvent réduire l'impact du changement climatique sur les rendements		
Ruml, Vuković, Vujadinović, Djurdjević, Ranković-Vasić, Atanacković, & Petrović (2012) <i>Agricultural and Forest Meteorology</i>	Evaluer comment la viticulture peut être impactée par une augmentation de la température et l'apparition d'un climat plus sec en Serbie	Les projections climatiques sont basées sur le modèle EBU-POMB, fourni par l'Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Emissions Scenarios (SRES)	- Les données de températures et de précipitations sont corrigés pour éviter les biais statistiques -L'impact sur la viticulture est ensuite déterminé par des indices de variabilités climatiques et agro-climatiques pour déterminer si les régions sont propices à la viticulture - Comparaison des indices de variabilités climatiques et agro-climatique sur les périodes de référence 1961-1990 et sur les valeurs prédites pour 2001-2030 sur 18 stations climatologiques	Pas de perturbations significatives pour les prochaines décennies, mais significatif pour la fin du 21 siècle, avec un changement dans la composition des cépages et des styles de vins qui en résulte	Augmentation de la variabilité des rendements selon les millésimes	
Bindi, Fibbi, Gozzini, Orlandini, & Miglietta (1996) <i>Climate Research</i>	Scénario: Les risques des potentiels changements dans l'agriculture, sous une augmentation de CO2 et des changements climatiques	-Un modèle de croissance mécaniste a été utilisé pour évaluer le rendement moyen et la variabilité du rendement de la vigne <i>Vitis vinifera</i> L. sous les climats actuels et futurs. - Augmentation de CO2 - Adaptation de 2 variétés (Sangiovese et Cabernet Sauvignon) ont été utilisés pour les analyses	- La sensibilité du rendement de la vigne a été analysée sur les trois variables (températures, radiation solaire et CO2) avant de tester les effets des scénarios climatiques	-Changement en terme de matière sèche moyenne des fruits pour les différents scénarios, alors que la variabilité totale moyenne de la matière sèche et de la variabilité des fruits et de la matière sèche totale ont été prédites d'augmenter pour tous les scénarios - le Réchauffement climatique provoque une réduction de la longueur du cycle végétatif de 21% et donc un risque potentiel sur les rendements	- Plus sensible aux changements de la concentration de CO2 et à la température qu'aux radiations - Le Sangiovese semble mieux s'adapter en terme de moyenne de production, mais ne s'adapte moins en terme de variations des rendements	
...						

...					
Holland et Smit (2010) <i>Journal of Wine Research</i>	Revue de connaissances actuelles des implications des changements climatiques pour la viticulture et la viniculture et suggestion de l'approche de vulnérabilité comme direction pour des recherches futures	Différents articles sur les connaissances actuelles du sujet	1. Impacts sur la qualité du vin 2. Impacts sur la phénologie et les rendements; 3. Adapter l'aptitude des sites dans le contexte du terroir. 4. La capacité d'adaptation de l'industrie du vin face aux changements climatiques dans les contextes des forces et des procédures. 5. Directions pour des études futures	Les changements climatiques ne vont pas avoir le même effet selon le stade phénologique et le timing	- Une bonne qualité de vin est associée à peu de gel au milieu de l'hiver, un bourgeonnement précoce, des étés plutôt chauds, et une maturation optimale sous des températures plus ou moins constantes. - la variable la plus indicative est la température durant le cycle végétatif
Jones, White, Cooper & Storchmann (2005) <i>Climate Change</i>	L'étude consiste à révéler que les impacts climatiques ne sont pas uniformes entre les variétés et les régions	- Données températures par le Center for Climatic Research, Department of Geography at the University of Delaware - Comparaison de prix et note d'années en années - Prix : l'hypothèse faite est que sur les conditions climatiques sont bénéfiques, elles augmentent la qualité, donc le prix - Notes tirées d'une publication de Sotheby's sur les notes des 18 meilleures régions viticoles, couvrant 28 cépages différents	- Utilisation du modèle de régression économétrique pour une analyse climat/ notes des millésimes: $R_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 i + \beta_1 t + \epsilon_{i,t}$ avec $R_{i,t}$ and $\text{temp}_{i,t}$ representent la note du millésime en point et la moyenne des températures saisonnières en °C pour le millésime t dans la région i - Pour améliorer l'équation, une variable sur les tendances de chaque région i a été ajoutée. - La constante et les effets marginaux de chaque variable sont données par α et β - Le dernier terme $\epsilon_{i,t}$ définit l'erreur stochastique .	Pour les régions productrices de vins, il deviendra de plus en plus dur de garder les typicités de cépages et de continuer à produire un vin de style similaire	- Une tendance d'augmentation des notes est apparue dans la plupart des régions, ce qui induit une augmentation de la qualité - L'augmentation des températures influence significativement les notes de 16 régions
Stock, Gerstengarbe, Kartschall & Werner (2004) <i>ISHS</i>	- Une nouvelle méthode est présentée pour évaluer les scénarios climatiques régionaux en utilisant le modèle statistique régional STAR		- Ce nouveau modèle offre une amélioration de l'applicabilité et de la fiabilité concernant la viticulture et évaluer des mesures d'adaptations et pas seulement de prévisions		Augmentation des risques de ravageurs en Sardaigne
Caffarra, Rinaldi, Eccel, Rossi, & Pertot (2012) <i>Agriculture, Ecosystems & Environment</i>	- Contexte: Les changements climatiques semblent impacter le développement des maladies de la plante et d'arthropodes de manière plus complexe que prévu - Objectif: Améliorer la compréhension du système hôte-ravageurs et pathogènes afin de comprendre leur interaction- en combinant la phénologie de la plante hôte et les ravageurs	- Research and Innovation Centre, San Michele all'Adige, Trento, Italy Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza, Ital	- Combinaison de modèles détaillés de la phénologie de la vigne avec des modèles phénologiques des ravageurs types en Europe et des pathogènes clés - Application du modèle sur une région à l'Est des Alpes italiennes - Considération des potentiels changements et leurs interactions		- L'asynchrone accrue entre les stades larvaires de la vigne et de la pyrale pour les régions plus chaudes et plus rentables de la région étudiée - Limitation des dommages futures des ravageurs dû à un raccourcissement du cycle végétatif - Plus grande présence de l'oïdium, mais gravité moindre de la maladie
...					

...						
Schultz (2000) <i>Australian Journal of Grape and Wine Research</i>	Evolution dans un environnement où la concentration en CO2 et le niveau des radiations UV-B augment	Modèle de simulations déjà établi		Les radiations UV-B altère la composition et diminue le teneur en acide du raisin	Les rations solaires semblent impacter la production en terme de qualité sous différents angles	Augmentation de la résistance aux maladies
Webb, Whetton, & Barlow (2007) <i>Australian Journal of Grape and Wine Research</i>		Scénarios futures sur les émissions de gaz à effet de serre et modèles de changement climatique déjà établis	Les impacts futurs du réchauffement climatiques sur la phénologie de la vigne a été modélisé pour deux variétés dans 6 régions viticoles d'Australie	- La phénologie de la vigne répond différemment selon les régions - Le cycle végétatif se comprime dans toutes les régions - Un manque de froid pourrait avoir un impact négatif sur certaines régions		
Ashenfelder, Ashmore, & Lalonde (1995) <i>Chance</i>	Prédiction statistique des prix des vins en se basant sur les caractéristiques saisonniers du cycle végétatif	- Index de prix basé sur les vins de plusieurs châteaux, sélectionné entre les plus chers et les moins chers - donnée de température à Bordeaux de 1952 à 1980 - Lincoln Moses for advice index based on the wines of several chateaux as a measure of the price.	- Analyse statistique afin de prédire la qualité et donc le prix en fonction de la météo de la période végétative. - Analyse de l'impact du vieillissement des vins sur leur prix - Explique comment cette méthode hédonique influence les autres régions afin de déterminer le rôle de la météo sur la qualité des différents millésimes		- la qualité des vins dépendait des caractéristiques spécifiques du lieu et des conditions météorologiques favorables, telles que les températures et précipitations - la qualité des millésimes devrait augmenter au fil des années selon les tendances climatiques.	
Cahill, Lobell, Field, Bonfils, & Hayhoe (2007)		- Mesures de climat et de qualité présentes dans la littérature - Les températures durant la période de maturité sur 50 ans	- Utilisation des mesures pour prédire la qualité des vins en Californie selon les changements climatiques futurs, en utilisant deux modèles climatiques et deux scénarios - Développement d'un modèle quantitatif sur les relations entre les modèles climatiques historique et les rendements de raisins en cuve en Californie		-Rendements plus élevés avec une réduction des périodes de gel, un bourgeonnement plus précoce au printemps et une période de croissance plus longue - Rendements moins élevé associés à des températures nocturne trop fraîches ou trop chaude en avril et moins de précipitation en juin et octobre peuvent provoquer une baisse de 5% à 10% des récoltes d'ici la fin du siècle	
Adams, Wu & Houston (2003) <i>Public Interest Energy Research (PIER)</i>	Analyse de l'effet de la température sur le vignoble Californien	- Températures maximales par mois et les précipitations de Mars à Septembre de 1972 à 2000 par le Western Regional Climate Center's (WRCC) - Rendements fournis par le Nation Agricultural Statistics Service (NASS)	Régression des rendements sur les températures maximum et les précipitations sans prendre en compte les températures minimum et les températures de la période de dormance, sur 4 zones et 23 cultures		Avec une augmentation de 3°C avec fertilisation de CO2, les rendements devraient augmenter de 90% d'ici 2100 pour les régions costales. Sans fertilisation, l'augmentation sera de 65%	

Tableau 2 : Revue de littérature concernant les aspects économiques

Auteurs (année) <i>Journal</i>	Contexte et Objectifs	Données	Méthodologie	Aspects économiques		
				Stratégie	Opportunités	Menace
Schultz et Jones (2010) <i>Journal of Wine Research</i>	Le raisin est extrêmement sensible au climat. Objectif: élaboration de stratégies pour lutter	- Températures par le Deutscher Wetterdienst (DDW) et le Aussenstelle Geisenheim - Acidité dans les rapports originaux de Dieter Hoppman,	1. Analyse du climat et de la viticulture dans le passé 2. Analyse du climat et de la viticulture aujourd'hui et dans le futur 3. Implication pour le développement de la vigne et la composition des vins	Impossible d'établir une stratégie type dû aux différences des régions	Ouverture de possibilité pour des régions encore non-productrices de vins,	Impact sur la compatibilité de certains cépages
Fraga, Malheiro, Moutinho-Pereira, & Santos (2012) <i>Food and Energy Security</i>	Etude faite dans le cadre du projet ClimVineSafe – Stratégie d'adaptation à court terme pour faire face aux changements climatiques pour les vignobles méditerranéens	Plusieurs sources, non précisées	1. Analyse de la phénologie du vin et influences climatiques 2. Projections des changements climatiques dans l'agriculture 3. Analyse du changement climatique et de l'impact sur la viticulture 4. Elaboration des mesures d'adaptations et d'atténuation du phénomène 5. Décisions de choix de variétés et de porte-greffes 6. Décision managériale d'irrigation 7. Traitement de la taille	Se focaliser sur le court terme et se concentrer sur des stratégies de management des techniques déjà utilisées	A long terme, développer des stratégies d'adaptation et d'atténuation au niveau régional	
Ruml, Vuković, Vujadinović, Djurdjević, Ranković-Vasić, Atanacković, & Petrović (2012) <i>Agricultural and Forest Meteorology</i>	Evaluer comment la viticulture peut être impactée par une augmentation de la température et l'apparition d'un climat plus sec en Serbie	Les projections climatiques sont basées sur le modèle EBU-POMB, fourni par l'Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Emissions Scenarios (SRES)	- Les données de températures et de précipitations sont d'abord corrigés pour éviter les biais statistiques - L'impact sur la viticulture est ensuite déterminé par des indices de variabilités climatiques et agro-climatiques pour déterminer si les régions restent propices à la viticulture - Comparaison des indices de variabilités climatiques et agro-climatique sur les périodes de référence 1961-1990 et sur les valeurs prédites pour 2001-2030 sur 18 stations climatologiques	Besoin d'un système additionnel d'irrigation	Expansion de zone propice à la viticulture attendue pour le futur, avec des régions auparavant trop froide deviennent plus chaude et favorable à la viticulture	
Jones, White, Cooper & Storchmann (2005) <i>Climate Change</i>	L'étude consiste à révéler que les impacts climatiques ne sont pas uniformes entre les variétés et les régions	- Données températures par le Center for Climatic Research, Department of Geography at the University of Delaware - Comparaison de prix et notes d'années en années - Prix : l'hypothèse faite est que si les conditions climatiques sont bénéfiques, elles augmentent la qualité, donc le prix - Notes tirées d'une publication de Sotheby's sur les notes des 18 meilleures régions viticoles, couvrant 28 cépages différents	- Utilisation du modèle de régression économétrique pour une analyse climat/ notes des millésimes: $R_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 i + \beta_1 i \text{ trend}_i + \epsilon_{i,t}$ avec $R_{i,t}$ and $\text{temp}_{i,t}$ representent la note du millésime en point et la moyenne des températures saisonnières en °C pour le millésime t dans la région i - Pour améliorer l'équation, une variable sur les tendances de chaque région i a été ajoutée. - La constante et les effets marginaux de chaque variable sont données par α et β - Le dernier terme $\epsilon_{i,t}$ définit l'erreur stochastique .	- Adapter le bon cépage au climat changeant en considérant une nouvelle stratégie d'encépagement	-Certains régions seront poussées vers un climat plus optimal à la production des variétés actuelles -Le réchauffement climatique semble être lié à des vins millésimés de meilleure qualité, avec moins de variations d'année en année	-Les régions atteignent des températures optimum, mais parfois trop chaud pour leur optimum - Des régions vont devoir changer leurs plants actuels, devenues trop chaudes pour leur culture
...						

...				
Stock, Gerstengarbe, Kartschall & Werner (2004) <i>ISHS</i>	Une nouvelle méthode est présentée pour évaluer les scénarios climatiques régionales en utilisant le model statistique régional STAR		Ce nouveau modèle offre une amélioration de l'applicabilité et de la fiabilité concernant la viticulture et évaluer des mesures d'adaptations et pas seulement de prévisions	Les régions plus au Nord vont pouvoir développer la viticulture et produire du vins
Caffarra, Rinaldi, Eccel, Rossi, & Pertot (2012) <i>Agriculture, Ecosystems & Environment</i>	Contexte: Les changements climatiques semblent impacter le développement des maladies de la plante et d'arthropodes de manière plus complexe que prévu Objectif: Améliorer la compréhension du système hôte-ravageurs et pathogènes afin de comprendre leur interaction en combinant la phénologie de la plante hôte et des ravageurs	Données fournies par Research and Innovation Centre, San Michele all'Adige, Trento, Italy Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza, Ital	- Combinaison de modèles détaillés de la phénologie de la vigne avec des modèles phénologiques des ravageurs et des pathogènes clés type en Europe - Application du modèle sur une région à l'Est des Alpes italiennes - Considération des potentiels changements et leurs interactions	Des régions au Nord avant protégées de des ravageurs et des maladies provenant du Sud deviendront maintenant exposé à ces derniers
Webb, Whetton, & Barlow (2007) <i>Australian Journal of Grape and Wine Research</i>		Scénarios futures sur les émissions de gaz à effet de serre et modèles de changement climatique déjà établis	Modélisation des impacts futurs du réchauffement climatiques sur la phénologie de la vigne pour deux variétés dans 6 régions viticoles d'Australie	Nécessité d'adapter les techniques de management de sol et du choix des porte-greffes
Ashenfelter, Ashmore, & Lalonde (1995) <i>Chance</i>	Prédiction statistique des prix des vins en se basant sur les caractéristiques saisonniers du cycle végétatif	- Index de prix basé sur les vins de plusieurs châteaux, sélectionnés entre les plus chers et les moins chers - Donnée de températures à Bordeaux de 1952 à 1980 - Lincoln Moses pour des conseils	- Analyse statistique afin de prédire la qualité et donc le prix en fonction de la météo durant la période végétative. - Analyse de l'impact du vieillissement des vins sur leur prix - Explication de comment cette méthode hédonique influence les autres régions afin de déterminer le rôle de la météo sur la qualité des différents millésimes	L'irrigation va devenir une pratique plus commune en Europe La qualité des millésimes dépend des conditions météorologiques durant le cycle végétatif de chaque millésime
...				

...

Bindi, Fibbi, Gozzini, Orlandini, & Miglietta (1996) <i>Climate Research</i>	Scénario: Les risques des potentiels changements dans l'agriculture, sous une augmentation de CO2 et des changements climatiques	-Un modèle de croissance mécaniste a été utilisé pour évaluer le rendement moyen et la variabilité du rendement de la vigne <i>Vitis vinifera</i> L. sous les climats actuels et futurs. - Augmentation de CO2 - Adaptation de 2 variétés (Sangiovese et Cabernet Sauvignon) ont été utilisé pour les analyses	- La sensibilité du rendement de la vigne a été analysée sur les trois variables (températures, radiation solaire et CO2) avant de tester les effets des scénarios climatiques			La différence entre les rendements des bonnes années et ceux des mauvaises années sera plus grandes, impliquant un risque économique pour le vigneron
Webb (2006) <i>PhD Thesis</i>	Thèse sur l'impact des projections des contribuant à l'effet de serre et changement climatique sur l'industrie australienne du vin dans le but d'obtenir un doctorat en phylosophie	- Prix par cépages et par régions - rendement par cépages et par régions	- Revenu par cépages (in \$/par hectare) en multipliant le prix par les rendements de chaque régions - Régression des revenus sur les données météorologiques par une analyse transversale - Les résultat ont ensuite été appliqué au niveau local en pondérant en fonction des cépages présents dans chaque région - l'effet national est calculé par une moyenne pondérée des résultats par région.	Il faudrait creuser le potentiel des cultures génétiquement modifiées et améliorer les systèmes d'irrigation et de protection contre les radiations	Relation significative entre revenu et Cabernet Sauvignon, Merlot, Shiraz, Chardonnay and Semillon.	Les revenus pour toute l'Australie prédisent une chute de 9.5% à 52% d'ici 2050

Tableau 3 : Evolution du climat pendant les cinq phases phénologiques du Pinot noir

Millésime	Evolution phénologique du Pinot Noir				Evolution climatique du cycle végétatif global ¹				
	Stade	Date début	Temp. Moy.	Préc. Tot.	Temp. Moy.	Temp. Min ²	Temp. Max ²	Rayon.	Prec. Tot.
	Unité	jj/mm	°C	mm	°C	°C	°C	W/h	mm
2003	Débourrement	18.04	15.68	16.00	19.10	12.82	25.56	5800	133.30
	Inflorescence	22.05	16.78	0.70					
	Pleine fleur	30.05	23.03	26.40					
	Véraison	14.07	22.13	77.90					
	Vendanges ³	11.09	16.81	0.40					
2004	Débourrement	12.04	12.11	7.20	17.04	11.35	22.86	5608	208.80
	Inflorescence	09.05	15.80	36.70					
	Pleine fleur	05.06	20.09	74.80					
	Véraison	05.08	18.25	86.40					
	Vendanges	30.09	15.08	9.80					
2005	Débourrement	18.04	13.70	14.00	17.24	11.75	22.84	5474	285.80
	Inflorescence	15.05	17.91	26.00					
	Pleine fleur	05.06	20.68	70.60					
	Véraison	02.08	17.61	120.40					
	Vendanges	29.09	11.94	11.20					
2006	Débourrement	24.04	14.41	27.00	17.52	11.85	23.53	5441	308.80
	Inflorescence	08.05	15.42	47.40					
	Pleine fleur	12.06	23.16	48.00					
	Véraison	31.07	17.83	115.80					
	Vendanges	19.09	16.89	26.80					
2007	Débourrement	10.04	16.92	14.20	17.18	11.47	23.14	5462	430.40
	Inflorescence	13.05	15.19	35.80					
	Pleine fleur	21.05	17.99	196.00					
	Véraison	16.07	19.30	165.60					
	Vendanges	01.09	15.77	0.00					
2008	Débourrement	21.04	14.49	21.60	16.81	11.55	22.51	5485	334.60
	Inflorescence	09.05	17.26	37.20					
	Pleine fleur	11.06	20.17	118.80					
	Véraison	31.07	17.59	134.00					
	Vendanges	25.09	11.94	8.00					
2009	Débourrement	13.04	14.18	4.60	18.46	12.35	24.70	5673	245.80
	Inflorescence	27.04	16.45	52.80					
	Pleine fleur	28.05	19.54	99.60					
	Véraison	23.07	21.37	88.60					
	Vendanges	09.09	17.44	0.00					
2010	Débourrement	21.04	14.42	58.00	17.11	11.56	22.87	5526	295.40
	Inflorescence	10.05	16.24	77.80					
	Pleine fleur	09.06	21.03	76.20					
	Véraison	04.08	17.82	63.80					
	Vendanges	24.09	13.84	7.40					
2011	Débourrement	10.04	14.51	0.00	18.19	11.82	24.44	5636	225.60
	Inflorescence	24.04	16.62	18.80					
	Pleine fleur	23.05	19.33	124.60					
	Véraison	18.07	18.80	36.60					
	Vendanges	31.08	18.79	17.80					
2012	Débourrement	03.04	11.10	67.20	17.36	11.64	23.19	5387	311.40
	Inflorescence	04.05	16.54	24.60					
	Pleine fleur	01.06	19.58	101.20					
	Véraison	25.07	19.89	88.80					
	Vendanges	20.09	14.14	29.60					

...

...									
2013	Débourrement	19.04	12.41	34.00	16.64	11.03	22.33	5555	336.20
	Inflorescence	06.05	15.09	94.20					
	Pleine fleur	20.06	20.58	139.00					
	Véraison	15.08	17.12	60.80					
	Vendanges	08.10	11.49	45.80					
2014	Débourrement	05.04	12.68	20.00	16.75	11.40	22.31	5290	325.20
	Inflorescence	30.04	14.50	36.00					
	Pleine fleur	05.06	19.57	80.60					
	Véraison	23.07	17.99	174.40					
	Vendanges	18.09	15.76	14.20					
2015	Débourrement	15.04	14.00	111.40	17.94	11.97	23.84	5476	386.60
	Inflorescence	06.05	16.68	30.00					
	Pleine fleur	05.06	22.41	119.60					
	Véraison	22.07	20.60	101.20					
	Vendanges	03.09	16.16	20.60					
2016	Débourrement	08.04	11.65	37.20	17.41	11.63	23.10	5471	259.20
	Inflorescence	11.05	15.50	70.80					
	Pleine fleur	10.06	20.12	85.80					
	Véraison	30.07	20.33	56.60					
	Vendanges	20.09	15.39	2.20					
2017	Débourrement	04.04	12.77	0.00	17.88	11.86	23.76	5547	242.00
	Inflorescence	21.04	14.51	46.40					
	Pleine fleur	29.05	21.86	76.20					
	Véraison	19.07	20.43	106.80					
	Vendanges	05.09	13.73	10.40					

Notes. Les valeurs pour les stades sont calculées depuis la date de début jusqu'à la date de début du prochain stade

¹ De début avril à fin septembre

² Moyenne sur la période

³ Calculé sur 2 semaines après la date de début

Tableau 4: Définition des variables de cépages de l'échantillon

Cépages	Ha Moy	Ha en % ¹	Précocité ²	Nobs	Litre moy.	Brix moy.
Amigne	40	0.8%	Moyen/Tardif	266	15 171	24.70
Chardonnay	70	1.4%	Précoce	608	12 051	22.43
Chasselas	1 108	21.9%	Précoce	937	147 208	18.92
Ermitage	45	0.9%	Tardif	500	22 302	22.67
Heida/Paiën	83	1.6%	Moyen/Précoce	549	16 417	23.06
Muscat	39	0.8%	Moyen/Précoce	388	10 168	24.13
Petite Arvine	149	2.9%	Tardif	749	10 674	22.67
Rhin/Sylvaner	232	4.6%	Moyen/Précoce	940	81 331	21.92
Cornalin	110	2.2%	Tardif	639	14 086	23.53
Diolinoir	81	1.6%	Moyen/Précoce	566	27 057	21.99
Gamaret	82	1.6%	Précoce	546	17 071	23.48
Gamay	711	14.1%	Précoce	664	6 164	20.32
Humagne rouge	121	2.4%	Tardif	524	33 758	23.23
Merlot	79	1.6%	Moyen	968	191 145	22.46
Pinot noir	1 675	33.2%	Précoce	751	41 098	22.18
Syrah	153	3.0%	Moyen/Tardif	565	31 577	22.50
Total	5 048	95.0%	-	10 160 ³	677 279	

Notes: ce tableau représente les cépages retenus dans l'échantillon et leurs caractéristiques

¹ en % de la surface totale des cépages

² Source : Office cantonale de la viticulture

³ ce nombre représente la totalité des cépages retenus, avant le tri des communes et le tri manuel final.

Tableau 5: Définition des variables de communes de l'échantillon

Commune	Rives	Région	Nobs	Ha moy	Ha en %¹	Litre moy	Brix moy
Charrat	Gauche	Bas-Valais	254	91	1.72%	38 579	22.38
Fully	Droite	Bas-Valais	516	330	6.24%	76 427	22.87
Leytron	Droite	Bas-Valais	536	256	4.83%	55 598	22.96
Martigny-Combe	Gauche	Bas-Valais	378	86	1.62%	20 490	22.68
Riddes	Gauche	Bas-Valais	293	67	1.26%	28 024	22.15
Saillon	Droite	Bas-Valais	442	187	3.53%	49 833	22.62
Saxon	Gauche	Bas-Valais	358	173	3.27%	54 289	22.29
Ardon	Droite	Valais central	454	161	3.05%	38 573	22.66
Ayent	Droite	Valais central	433	156	2.94%	39 090	22.44
Chalais	Gauche	Valais central	331	77	1.45%	25 938	22.36
Chamoson	Droite	Valais central	538	420	7.94%	96 032	22.55
Conthey	Droite	Valais central	446	353	6.66%	98 932	22.37
Grimisuat	Droite	Valais central	393	117	2.21%	34 932	22.53
Grône	Gauche	Valais central	240	52	0.99%	21 150	22.18
Lens	Droite	Valais central	436	126	2.38%	34 690	23.10
Miège	Droite	Valais central	419	101	1.92%	25 518	22.79
Saint-Léonard	Droite	Valais central	369	90	1.69%	32 550	23.17
Savièse	Droite	Valais central	437	289	5.45%	79 852	22.24
Sierre	Droite-Gauche	Valais central	502	277	5.24%	61 730	22.98
Sion	Droite-Gauche	Valais central	535	414	7.81%	89 451	22.69
Venthône	Droite	Valais central	439	98	1.84%	21 725	22.92
Vétroz	Droite	Valais central	400	165	3.12%	49 769	22.92
Veyras	Droite	Valais central	393	74	1.40%	19 144	22.93
Leuk	Droite	Haut-Valais	368	66	1.25%	19 124	22.47
Salgesch	Droite	Haut-Valais	445	196	3.71%	50 560	22.75
Varen	Droite	Haut-Valais	516	121	2.29%	24 455	22.62
Total			10 871²	4 545	86%	1 186 456	

Notes: ce tableau présente les communes retenues dans l'échantillon avec leurs caractéristiques.

¹ en % de la surface totale des communes

² ce nombre représente la totalité des communes retenues, avant le tri des cépages et le tri manuel final

Tableau 6: Relation entre les conditions climatiques durant le cycle végétatif et les variations de la quantité et de la qualité

	Δ KILO		Δ LITR		Δ BRIX		Δ OECH	
	Coef.	p-value	Coef.	p-value	Coef.	p-value	Coef.	p-value
Constante	1.64	<.01%	1.63	<.01%	-0.28	<.01%	-0.30	<.01%
Gel	-0.157	<.01%	-0.161	<.01%	-0.004	0.07%	-0.004	0.08%
Drosophila	0.250	<.01%	0.258	<.01%	-0.010	<.01%	-0.011	<.01%
Mildiou	-0.006	77.01%	-0.005	82.43%	-0.015	<.01%	-0.016	<.01%
Pourriture grise	-0.032	5.68%	-0.031	6.25%	-0.008	<.01%	-0.008	<.01%
Température moy.	-0.035	0.01%	-0.035	0.01%	0.009	<.01%	0.010	<.01%
Ensoleillement	-0.097	<.01%	-0.097	<.01%	0.010	<.01%	0.011	<.01%
Précipitations	0.043	<.01%	0.044	<.01%	-0.002	<.01%	-0.002	<.01%
Nobs	5697		5697		5697		5697	
R ²	0.13		0.13		0.28		0.28	

Notes: Ce tableau reporte les coefficients et leur respective p-value, ainsi que les nombre d'observations et le R-carré de la régression des variations de la quantité (kilo, litre) et de la qualité (brix, oechsle). sur un ensemble de variables liées aux accidents climatiques (variables muettes) et de variables liées aux conditions climatiques (variables continues). Le cycle végétatif comprend la période du mois d'avril au mois de septembre.

Tableau 7: Analyse des sources de variations de la quantité et de la qualité

	Δ KILO ²		Δ LITR ²		Δ BRIX ²		Δ OECH ²	
	Coef.	p-value	Coef.	p-value	Coef×100	p-value	Coef.×100	p-value
Constante	-0.15	0.11%	-0.16	0.08%	0.00	75.86%	0.00	75.55%
Millésime 2003	0.32	<.01%	0.32	<.01%	0.03	0.02%	0.03	0.01%
Millésime 2004	0.26	<.01%	0.27	<.01%	0.02	0.57%	0.02	0.85%
Millésime 2005	0.18	<.01%	0.18	<.01%	-0.02	1.88%	-0.02	1.70%
Millésime 2006	0.05	15.43%	0.05	14.93%	0.01	34.64%	0.01	37.14%
Millésime 2007	0.03	34.30%	0.03	33.60%	-0.01	32.84%	-0.01	27.89%
Millésime 2008	0.02	66.32%	0.02	65.65%	-0.02	0.11%	-0.03	0.08%
Millésime 2009	0.06	10.51%	0.06	11.07%	-0.02	0.12%	-0.03	0.09%
Millésime 2011	0.04	21.58%	0.04	21.99%	-0.02	0.65%	-0.02	0.56%
Millésime 2012	0.08	3.08%	0.08	3.09%	-0.01	10.82%	-0.01	8.75%
Millésime 2013	0.07	5.38%	0.07	5.43%	-0.03	0.04%	-0.03	0.03%
Millésime 2014	0.17	<.01%	0.18	<.01%	0.00	93.53%	0.00	99.75%
Millésime 2015	0.17	<.01%	0.17	<.01%	0.01	24.71%	0.01	29.85%
Millésime 2016	0.60	<.01%	0.61	<.01%	0.02	0.83%	0.02	1.10%
Millésime 2017	0.32	<.01%	0.32	<.01%	0.01	41.90%	0.01	47.66%
Ardon	0.06	19.23%	0.06	19.93%	0.02	2.56%	0.02	2.68%
Ayent	0.06	20.11%	0.06	19.52%	0.02	2.90%	0.02	2.75%
Chalais	0.17	0.03%	0.17	0.03%	0.03	0.04%	0.04	0.04%
Charrat	0.14	0.72%	0.14	0.78%	0.03	0.16%	0.04	0.16%
Conthey	0.01	76.54%	0.01	77.98%	0.00	94.26%	0.00	91.95%
Fully	0.04	34.04%	0.04	33.92%	0.00	74.71%	0.00	70.12%
Grimisuat	0.11	1.71%	0.11	1.71%	0.03	0.12%	0.04	0.10%
Grône	0.16	0.13%	0.16	0.15%	0.06	<.01%	0.07	<.01%
Lens	0.03	55.40%	0.03	54.57%	0.01	21.76%	0.01	19.62%
Leuk	0.02	59.57%	0.02	60.37%	0.06	<.01%	0.07	<.01%
Leytron	-0.01	79.37%	-0.01	79.82%	0.01	52.85%	0.01	45.04%
Martigny-Combe	0.05	26.19%	0.05	25.93%	0.01	15.11%	0.02	15.46%
Miège	0.09	4.91%	0.09	4.92%	0.02	8.86%	0.02	8.15%
Riddes	0.06	20.14%	0.06	20.18%	0.05	<.01%	0.06	<.01%
Saillon	0.02	68.61%	0.02	68.13%	0.01	36.81%	0.01	36.10%
Saint-Léonard	0.04	41.82%	0.04	43.02%	0.03	0.07%	0.04	0.06%
Salgesch	-0.04	37.88%	-0.04	37.37%	-0.01	53.45%	-0.01	57.43%
Savièse	0.08	6.23%	0.08	6.13%	0.01	16.82%	0.02	16.52%
Saxon	0.11	2.68%	0.11	2.63%	0.03	0.51%	0.03	0.50%
Sierre	0.01	76.73%	0.01	76.19%	0.00	64.36%	0.01	59.83%
Sion	0.05	24.22%	0.05	24.65%	0.00	86.58%	0.00	91.34%
Varen	0.07	13.79%	0.07	12.48%	0.01	50.71%	0.01	47.99%
Venthône	0.06	20.03%	0.06	17.54%	0.01	37.19%	0.01	32.79%
Vétroz	0.01	81.70%	0.01	82.59%	0.02	7.79%	0.02	7.25%
Veyras	0.13	0.41%	0.13	0.36%	0.01	21.77%	0.01	19.34%
Amigne	0.12	0.35%	0.12	0.33%	0.09	<.01%	0.11	<.01%
Chardonnay	0.06	7.83%	0.06	7.41%	0.02	0.10%	0.03	0.19%
Chasselas	0.07	3.76%	0.07	3.55%	0.04	<.01%	0.05	<.01%
Cornalin	0.18	<.01%	0.18	<.01%	0.07	<.01%	0.08	<.01%
Diolinoir	0.12	0.08%	0.12	0.05%	0.03	<.01%	0.04	<.01%
Ermitage	0.07	4.87%	0.08	4.67%	0.13	<.01%	0.15	<.01%
Gamaret	0.21	<.01%	0.22	<.01%	0.04	<.01%	0.05	<.01%
Gamay	0.09	0.65%	0.09	0.72%	0.02	1.13%	0.02	1.21%
Heida/Païen	0.83	<.01%	0.83	<.01%	0.05	<.01%	0.06	<.01%
Humagne rouge	0.09	0.97%	0.10	0.70%	0.06	<.01%	0.07	<.01%
Merlot	0.51	<.01%	0.52	<.01%	0.08	<.01%	0.09	<.01%
Muscat	0.09	1.01%	0.09	0.96%	0.08	<.01%	0.09	<.01%
Petite Arvine	0.13	0.02%	0.13	0.02%	0.05	<.01%	0.06	<.01%
Rhin/Sylvaner	0.05	17.20%	0.05	16.38%	0.04	<.01%	0.04	<.01%
Syrah	0.04	22.77%	0.05	19.82%	0.07	<.01%	0.08	<.01%
Nobs		5697		5697		5697		5697
R ²		0.23		0.23		0.11		0.12

Notes: Ce tableau reporte les coefficients et leur respective p-value, ainsi que le nombre d'observations et le R-carré de la régression du carré des variations de la quantité (kilo, litre) et de la qualité (brix,oechslé) sur un ensemble des variables muettes de millésime, commune et cépages. La référence est le millésime 2010, la commune de Chamoson et le cépage du Pinot noir.

Tableau 8: Corrélation entre les variations de quantité des cépages

Panel 1a:		Cépages blanc								Cépages rouges							
ΔKILO	Maturité	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]	[H]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
[A] Chardonnay	Précoce	1.00	0.50	-0.32	0.46	-0.01	0.10	0.10	-0.17	-0.13	0.57	0.61	0.02	-0.28	0.05	-0.13	-0.08
[B] Chasselas	Précoce	0.50	1.00	-0.70	0.55	-0.30	-0.10	-0.07	-0.50	-0.49	0.83	0.79	-0.49	-0.71	-0.19	-0.50	-0.39
[C] Heida/Païen	Précoce/Moyen	-0.32	-0.70	1.00	-0.53	0.42	0.12	0.11	0.54	0.55	-0.68	-0.63	0.53	0.76	0.32	0.59	0.48
[D] Muscat	Précoce/Moyen	0.46	0.55	-0.53	1.00	-0.21	0.01	0.11	-0.23	-0.29	0.56	0.59	-0.15	-0.48	-0.08	-0.30	-0.17
[E] Rhin/Sylvaner	Précoce/Moyen	-0.01	-0.30	0.42	-0.21	1.00	0.29	0.31	0.36	0.44	-0.18	-0.13	0.45	0.45	0.41	0.47	0.32
[F] Amigne	Tardif/Moyen	0.10	-0.10	0.12	0.01	0.29	1.00	0.27	0.28	0.22	-0.06	0.04	0.27	0.24	0.36	0.28	0.26
[G] Ermitage	Tardif	0.10	-0.07	0.11	0.11	0.31	0.27	1.00	0.25	0.16	-0.07	0.04	0.35	0.13	0.32	0.22	0.26
[H] Petite Arvine	Tardif	-0.17	-0.50	0.54	-0.23	0.36	0.28	0.25	1.00	0.52	-0.39	-0.32	0.58	0.55	0.49	0.59	0.56
[1] Gamaret	Précoce	-0.13	-0.49	0.55	-0.29	0.44	0.22	0.16	0.52	1.00	-0.43	-0.30	0.66	0.65	0.44	0.63	0.59
[2] Gamay	Précoce	0.57	0.83	-0.68	0.56	-0.18	-0.06	-0.07	-0.39	-0.43	1.00	0.82	-0.39	-0.64	-0.09	-0.45	-0.40
[3] Pinot noir	Précoce	0.61	0.79	-0.63	0.59	-0.13	0.04	0.04	-0.32	-0.30	0.82	1.00	-0.20	-0.54	0.00	-0.36	-0.26
[4] Diolinoir	Précoce/Moyen	0.02	-0.49	0.53	-0.15	0.45	0.27	0.35	0.58	0.66	-0.39	-0.20	1.00	0.65	0.51	0.63	0.52
[5] Merlot	Moyen	-0.28	-0.71	0.76	-0.48	0.45	0.24	0.13	0.55	0.65	-0.64	-0.54	0.65	1.00	0.44	0.67	0.52
[6] Syrah	Tardif/Moyen	0.05	-0.19	0.32	-0.08	0.41	0.36	0.32	0.49	0.44	-0.09	0.00	0.51	0.44	1.00	0.52	0.38
[7] Cornalin	Tardif	-0.13	-0.50	0.59	-0.30	0.47	0.28	0.22	0.59	0.63	-0.45	-0.36	0.63	0.67	0.52	1.00	0.58
[8] Humagne rouge	Tardif	-0.08	-0.39	0.48	-0.17	0.32	0.26	0.26	0.56	0.59	-0.40	-0.26	0.52	0.52	0.38	0.58	1.00

Panel 1b:		Cépages blancs								Cépages rouges							
ΔLITR	Maturité	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]	[H]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
[A] Chardonnay	Précoce	1.00	0.50	-0.32	0.46	-0.01	0.10	0.10	-0.17	-0.14	0.57	0.61	0.01	-0.28	0.04	-0.14	-0.09
[B] Chasselas	Précoce	0.50	1.00	-0.70	0.55	-0.30	-0.10	-0.07	-0.50	-0.50	0.82	0.79	-0.50	-0.71	-0.21	-0.50	-0.40
[C] Heida/Païen	Précoce/Moyen	-0.32	-0.70	1.00	-0.53	0.42	0.12	0.11	0.54	0.56	-0.68	-0.62	0.54	0.77	0.34	0.61	0.50
[D] Muscat	Précoce/Moyen	0.46	0.55	-0.53	1.00	-0.21	0.01	0.11	-0.23	-0.29	0.56	0.59	-0.15	-0.48	-0.09	-0.31	-0.18
[E] Rhin/Sylvaner	Précoce/Moyen	-0.01	-0.30	0.42	-0.21	1.00	0.29	0.31	0.36	0.44	-0.18	-0.13	0.46	0.45	0.42	0.47	0.32
[F] Amigne	Tardif/Moyen	0.10	-0.10	0.12	0.01	0.29	1.00	0.27	0.28	0.22	-0.06	0.04	0.27	0.23	0.35	0.28	0.26
[G] Ermitage	Tardif	0.10	-0.07	0.11	0.11	0.31	0.27	1.00	0.25	0.16	-0.07	0.04	0.35	0.12	0.31	0.21	0.25
[H] Petite Arvine	Tardif	-0.17	-0.50	0.54	-0.23	0.36	0.28	0.25	1.00	0.52	-0.39	-0.31	0.58	0.55	0.50	0.60	0.56
[1] Gamaret	Précoce	-0.14	-0.50	0.56	-0.29	0.44	0.22	0.16	0.52	1.00	-0.43	-0.30	0.67	0.65	0.45	0.64	0.59
[2] Gamay	Précoce	0.57	0.82	-0.68	0.56	-0.18	-0.06	-0.07	-0.39	-0.43	1.00	0.81	-0.40	-0.64	-0.11	-0.45	-0.41
[3] Pinot noir	Précoce	0.61	0.79	-0.62	0.59	-0.13	0.04	0.04	-0.31	-0.30	0.81	1.00	-0.21	-0.53	-0.01	-0.36	-0.26
[4] Diolinoir	Précoce/Moyen	0.01	-0.50	0.54	-0.15	0.46	0.27	0.35	0.58	0.67	-0.40	-0.21	1.00	0.66	0.52	0.64	0.53
[5] Merlot	Moyen	-0.28	-0.71	0.77	-0.48	0.45	0.23	0.12	0.55	0.65	-0.64	-0.53	0.66	1.00	0.46	0.68	0.53
[6] Syrah	Tardif/Moyen	0.04	-0.21	0.34	-0.09	0.42	0.35	0.31	0.50	0.45	-0.11	-0.01	0.52	0.46	1.00	0.54	0.39
[7] Cornalin	Tardif	-0.14	-0.50	0.61	-0.31	0.47	0.28	0.21	0.60	0.64	-0.45	-0.36	0.64	0.68	0.54	1.00	0.59
[8] Humagne rouge	Tardif	-0.09	-0.40	0.50	-0.18	0.32	0.26	0.25	0.56	0.59	-0.41	-0.26	0.53	0.53	0.39	0.59	1.00

Notes: Ce tableau reporte les coefficients de corrélation entre les variations de quantité des cépages classés par degré de maturité.

Tableau 9: Corrélation entre les variations de qualité des cépages

Panel 2a:		Cépages blancs								Cépages rouges							
ΔBRIX	Maturité	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]	[H]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
[A] Chardonnay	Précoce	1.00	0.32	0.17	0.20	0.34	0.13	0.13	0.20	0.20	0.21	0.38	0.22	0.32	0.20	0.24	0.22
[B] Chasselas	Précoce	0.32	1.00	0.25	0.44	0.56	0.11	0.13	0.31	0.62	0.55	0.59	0.38	0.53	0.59	0.49	0.42
[C] Heida/Paiën	Précoce/Moyen	0.17	0.25	1.00	0.19	0.32	0.29	0.25	0.42	0.23	0.21	0.25	0.28	0.34	0.28	0.28	0.25
[D] Muscat	Précoce/Moyen	0.20	0.44	0.19	1.00	0.28	0.18	0.11	0.33	0.30	0.42	0.35	0.26	0.29	0.52	0.51	0.37
[E] Rhin/Sylvaner	Précoce/Moyen	0.34	0.56	0.32	0.28	1.00	0.16	0.30	0.26	0.45	0.30	0.50	0.35	0.44	0.31	0.42	0.36
[F] Amigne	Tardif/Moyen	0.13	0.11	0.29	0.18	0.16	1.00	0.39	0.32	0.14	0.03	0.18	0.15	0.29	0.17	0.21	0.24
[G] Ermitage	Tardif	0.13	0.13	0.25	0.11	0.30	0.39	1.00	0.35	0.10	-0.03	0.07	0.12	0.13	0.11	0.22	0.25
[H] Petite Arvine	Tardif	0.20	0.31	0.42	0.33	0.26	0.32	0.35	1.00	0.34	0.28	0.36	0.37	0.21	0.47	0.49	0.45
[1] Gamaret	Précoce	0.20	0.62	0.23	0.30	0.45	0.14	0.10	0.34	1.00	0.45	0.46	0.32	0.31	0.45	0.39	0.40
[2] Gamay	Précoce	0.21	0.55	0.21	0.42	0.30	0.03	-0.03	0.28	0.45	1.00	0.68	0.42	0.36	0.45	0.53	0.43
[3] Pinot noir	Précoce	0.38	0.59	0.25	0.35	0.50	0.18	0.07	0.36	0.46	0.68	1.00	0.50	0.54	0.39	0.45	0.47
[4] Diolinoir	Précoce/Moyen	0.22	0.38	0.28	0.26	0.35	0.15	0.12	0.37	0.32	0.42	0.50	1.00	0.47	0.34	0.36	0.43
[5] Merlot	Moyen	0.32	0.53	0.34	0.29	0.44	0.29	0.13	0.21	0.31	0.36	0.54	0.47	1.00	0.43	0.37	0.41
[6] Syrah	Tardif/Moyen	0.20	0.59	0.28	0.52	0.31	0.17	0.11	0.47	0.45	0.45	0.39	0.34	0.43	1.00	0.63	0.50
[7] Cornalin	Tardif	0.24	0.49	0.28	0.51	0.42	0.21	0.22	0.49	0.39	0.53	0.45	0.36	0.37	0.63	1.00	0.58
[8] Humagne rouge	Tardif	0.22	0.42	0.25	0.37	0.36	0.24	0.25	0.45	0.40	0.43	0.47	0.43	0.41	0.50	0.58	1.00
Panel 2b:		Cépages blancs								Cépages rouges							
ΔOECH	Maturité	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]	[H]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
[A] Chardonnay	Précoce	1.00	0.32	0.16	0.20	0.35	0.13	0.14	0.19	0.20	0.21	0.40	0.24	0.32	0.19	0.24	0.22
[B] Chasselas	Précoce	0.32	1.00	0.25	0.44	0.56	0.11	0.13	0.30	0.62	0.55	0.58	0.38	0.53	0.59	0.49	0.42
[C] Heida/Paiën	Précoce/Moyen	0.16	0.25	1.00	0.19	0.32	0.29	0.25	0.42	0.23	0.21	0.24	0.28	0.34	0.27	0.27	0.25
[D] Muscat	Précoce/Moyen	0.20	0.44	0.19	1.00	0.28	0.18	0.11	0.33	0.30	0.42	0.34	0.26	0.29	0.52	0.51	0.37
[E] Rhin/Sylvaner	Précoce/Moyen	0.35	0.56	0.32	0.28	1.00	0.16	0.29	0.26	0.45	0.30	0.50	0.35	0.44	0.31	0.42	0.36
[F] Amigne	Tardif/Moyen	0.13	0.11	0.29	0.18	0.16	1.00	0.39	0.32	0.14	0.03	0.18	0.15	0.29	0.17	0.21	0.24
[G] Ermitage	Tardif	0.14	0.13	0.25	0.11	0.29	0.39	1.00	0.35	0.10	-0.03	0.06	0.11	0.13	0.12	0.23	0.25
[H] Petite Arvine	Tardif	0.19	0.30	0.42	0.33	0.26	0.32	0.35	1.00	0.34	0.28	0.35	0.38	0.21	0.47	0.50	0.45
[1] Gamaret	Précoce	0.20	0.62	0.23	0.30	0.45	0.14	0.10	0.34	1.00	0.45	0.46	0.32	0.31	0.45	0.39	0.40
[2] Gamay	Précoce	0.21	0.55	0.21	0.42	0.30	0.03	-0.03	0.28	0.45	1.00	0.68	0.42	0.36	0.45	0.53	0.43
[3] Pinot noir	Précoce	0.40	0.58	0.24	0.34	0.50	0.18	0.06	0.35	0.46	0.68	1.00	0.48	0.53	0.38	0.44	0.46
[4] Diolinoir	Précoce/Moyen	0.24	0.38	0.28	0.26	0.35	0.15	0.11	0.38	0.32	0.42	0.48	1.00	0.47	0.35	0.36	0.43
[5] Merlot	Moyen	0.32	0.53	0.34	0.29	0.44	0.29	0.13	0.21	0.31	0.36	0.53	0.47	1.00	0.43	0.37	0.41
[6] Syrah	Tardif/Moyen	0.19	0.59	0.27	0.52	0.31	0.17	0.12	0.47	0.45	0.45	0.38	0.35	0.43	1.00	0.64	0.50
[7] Cornalin	Tardif	0.24	0.49	0.27	0.51	0.42	0.21	0.23	0.50	0.39	0.53	0.44	0.36	0.37	0.64	1.00	0.58
[8] Humagne rouge	Tardif	0.22	0.42	0.25	0.37	0.36	0.24	0.25	0.45	0.40	0.43	0.46	0.43	0.41	0.50	0.58	1.00

Notes: Ce tableau reporte les coefficients de corrélation entre les variations de qualité des cépages classés par degré de maturité.

Tableau 10: Combinaison détaillée des portefeuilles selon le nombre de cépages blancs inclus

Cépages	Amigne	Chardonnay	Chasselas	Ermitage	Heida/Paien	Muscat	Petite Arvine	Rhin/Sylvaner
Panel 1a	1							X
	2			X			X	
	3			X			X	X
	4			X			X	X
	5			X	X		X	X
	6		X	X	X		X	X
	7	X	X	X	X		X	X
	8	X	X	X	X	X	X	X
Panel 1b	1							X
	2			X			X	
	3			X			X	X
	4			X			X	X
	5			X	X		X	X
	6		X	X	X		X	X
	7	X	X	X	X		X	X
	8	X	X	X	X	X	X	X
Panel 2a	1		X					
	2		X					X
	3		X				X	X
	4		X			X	X	X
	5	X	X	X		X		X
	6	X	X	X		X	X	X
	7	X	X	X		X	X	X
	8	X	X	X	X	X	X	X
Panel 2b	1		X					
	2		X		X			
	3		X				X	X
	4		X			X	X	X
	5	X	X	X		X		X
	6	X	X	X		X	X	X
	7	X	X	X		X	X	X
	8	X	X	X	X	X	X	X

Notes: Ce tableau représente les cépages blancs optimaux à sélectionner pour minimiser la variance des portefeuilles avec n cépages blancs

Tableau 11: Combinaison détaillée des portefeuilles selon le nombre de cépages rouges inclus

Cépages	Cornalin	Diolinoir	Gamaret	Gamay	Humagne rouge	Merlot	Pinot noir	Syrah
Panel 1a	1						X	
	2						X	X
	3				X	X		X
	4				X	X	X	X
	5		X		X	X	X	X
	6	X	X		X	X	X	X
	7	X	X	X	X	X	X	X
	8	X	X	X	X	X	X	X
Panel 1b	1						X	
	2						X	X
	3				X	X		X
	4				X	X	X	X
	5		X		X	X	X	X
	6	X	X		X	X	X	X
	7	X	X	X	X	X	X	X
	8	X	X	X	X	X	X	X
Panel 2a	1						X	
	2				X		X	
	3		X	X			X	
	4		X	X	X		X	
	5		X	X	X	X	X	
	6		X	X	X	X	X	X
	7		X	X	X	X	X	X
	8	X	X	X	X	X	X	X
Panel 2b	1						X	
	2				X		X	
	3		X	X			X	
	4		X	X	X		X	
	5		X	X	X	X	X	
	6		X	X	X	X	X	X
	7		X	X	X	X	X	X
	8	X	X	X	X	X	X	X

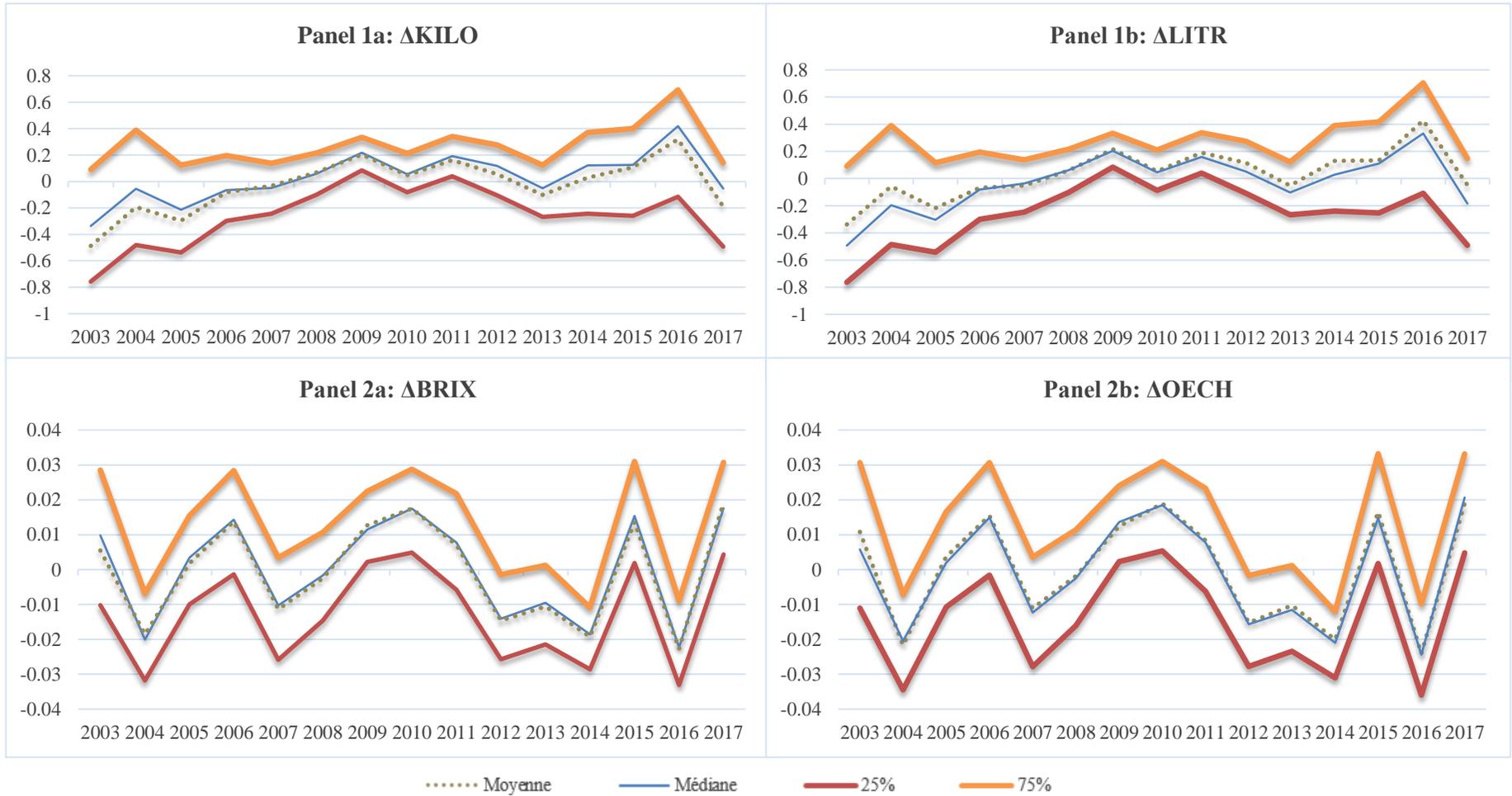
Notes: Ce tableau représente les cépages rouges optimaux à sélectionner pour minimiser la variance des portefeuilles avec n cépages rouges

Tableau 12: Combinaison détaillée des portefeuilles selon le nombre de cépages blancs et rouges inclus

	Cépages	Amigne	Chardonnay	Chasselas	Ermitage	Heida /Païen	Muscat	Petite Arvine	Rhin/ Sylvaner	Cornalin	Diolinoir	Gamaret	Gamay	Humagne rouge	Merlot	Pinot noir	Syrah
Panel 1a	1														X		
	2														X	X	
	3			X							X				X	X	
	4			X										X	X	X	
	5			X								X			X	X	
	6			X					X		X		X		X	X	
	7			X					X		X		X		X	X	
	8			X				X	X		X		X		X	X	
	9			X				X	X		X		X		X	X	X
	10	X	X	X				X	X		X		X		X	X	
	11	X	X	X				X	X		X		X	X	X	X	X
	12	X	X	X				X	X		X		X	X	X	X	X
	13	X	X	X			X	X	X		X		X	X	X	X	X
	14	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X
	15	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
	16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Panel 1b	1														X		
	2														X	X	
	3			X							X				X	X	
	4			X										X	X	X	
	5			X								X			X	X	
	6			X					X		X		X		X	X	
	7			X					X		X		X		X	X	
	8			X				X	X		X		X		X	X	
	9	X		X				X	X		X		X		X	X	
	10	X	X	X				X	X		X		X		X	X	
	11	X	X	X				X	X		X		X	X	X	X	X
	12	X	X	X				X	X		X		X	X	X	X	X
	13	X	X	X			X	X	X		X		X	X	X	X	X
	14	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X
	15	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
	16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Panel 2a	1														X		
	2		X												X		
	3		X												X	X	
	4		X					X	X						X		
	5		X					X	X	X					X		
	6		X				X		X					X	X	X	
	7	X	X				X		X		X				X		
	8	X	X				X		X		X				X	X	
	9	X	X				X		X		X				X	X	
	10	X	X				X	X	X		X				X	X	
	11	X	X				X	X	X		X		X		X	X	
	12	X	X	X			X	X	X		X		X		X	X	
	13	X	X	X			X	X	X		X	X			X	X	
	14	X	X	X			X	X	X		X	X			X	X	
	15	X	X	X			X	X	X		X	X	X		X	X	X
	16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Panel 2b	1														X		
	2		X												X		
	3		X												X	X	
	4		X					X	X						X		
	5		X					X	X	X					X		
	6		X				X		X					X	X	X	
	7	X	X				X		X		X				X		
	8	X	X				X		X		X				X	X	
	9	X	X				X		X		X				X	X	
	10	X	X	X			X		X		X				X	X	
	11	X	X				X	X	X		X		X		X	X	
	12	X	X	X			X	X	X		X		X		X	X	
	13	X	X	X			X	X	X		X	X			X	X	
	14	X	X	X			X	X	X		X	X			X	X	X
	15	X	X	X			X	X	X		X	X	X		X	X	X
	16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

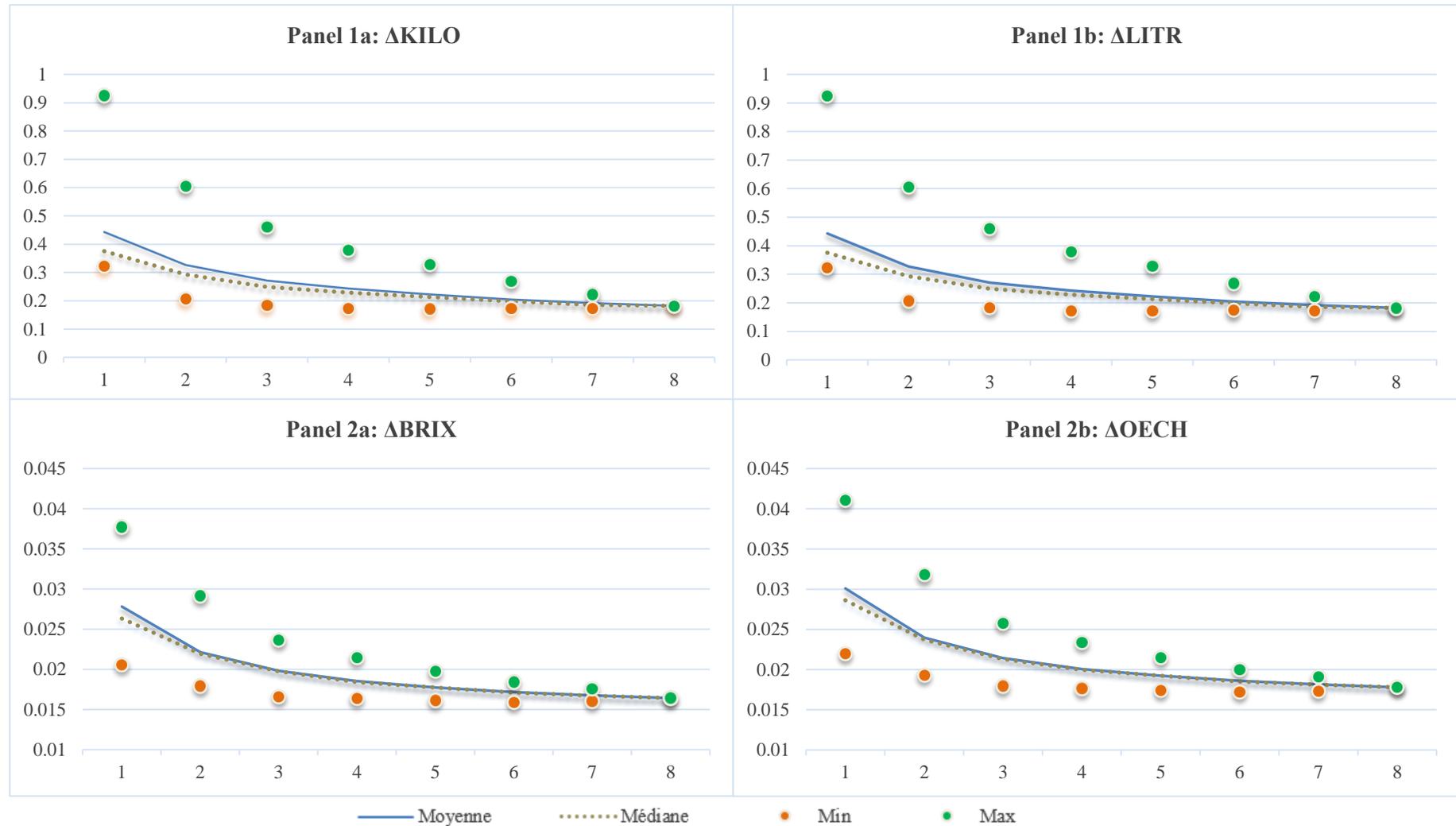
Notes: Ce tableau représente les cépages blancs et rouges optimaux à sélectionner pour minimiser la variance des portefeuilles avec n cépages blancs et rouges

Figure 1: Evolution des variables dans le temps



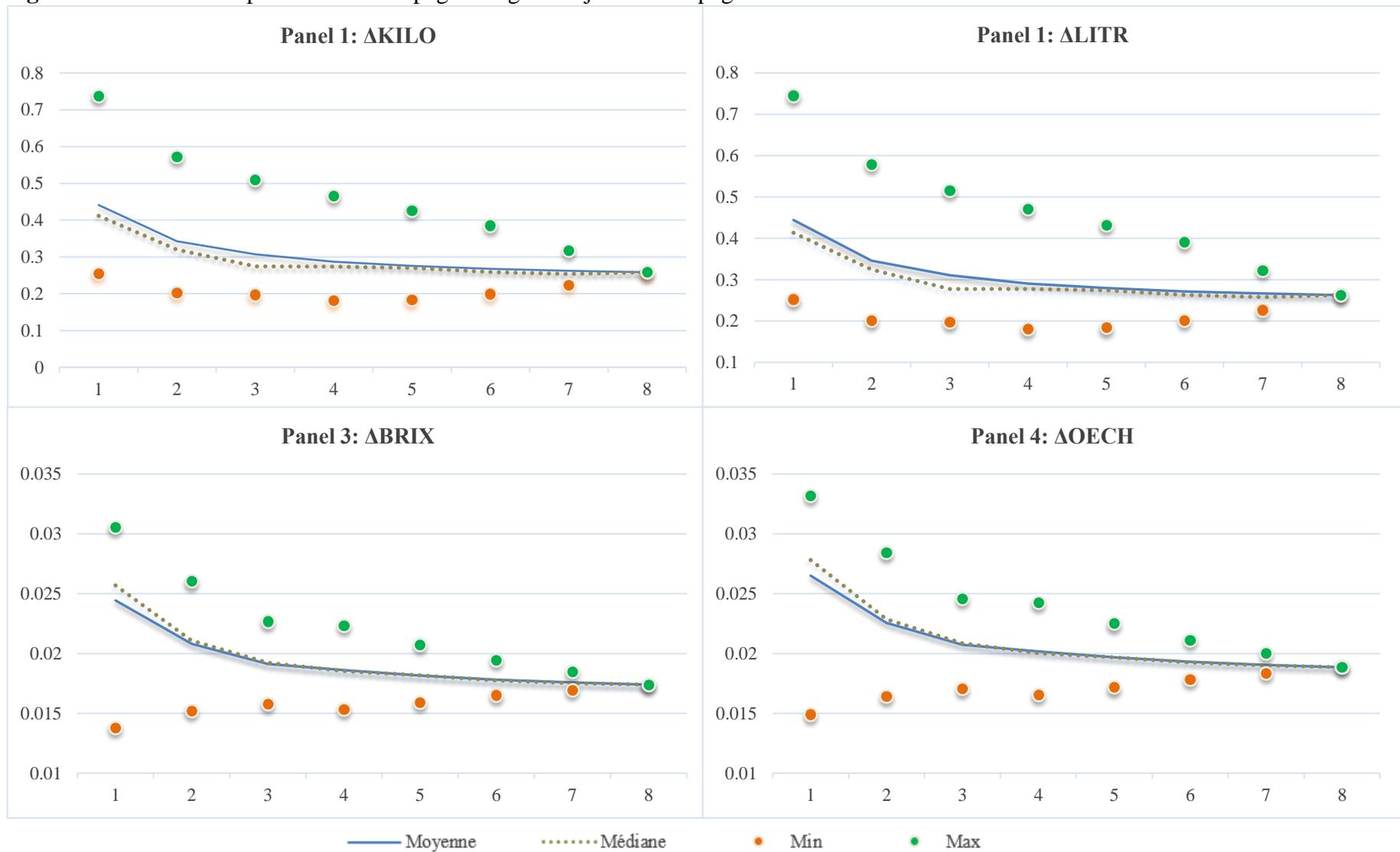
Notes: Cette figure reporte les variations de quantité et de qualité dans le temps. Le Panel 1a montre la variation en kg. Le Panel 1b montre la variation en litre. Le Panel 2a montre la variation en brix moyen. Le Panel 2b montre la variation en oechsle moyen.

Figure 2: Evolution des portefeuilles à cépages blancs à l'ajout d'un cépage



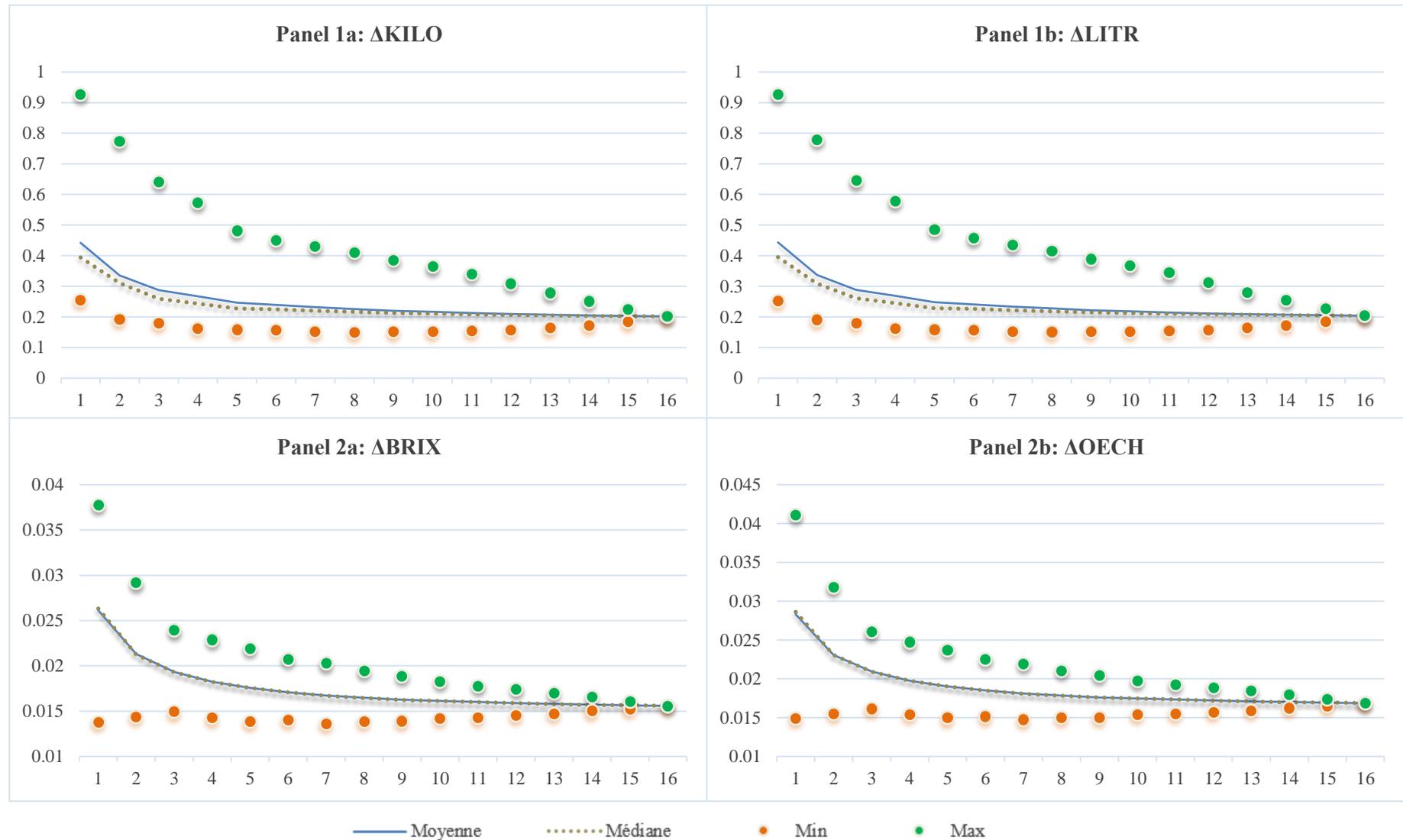
Notes: Cette figure reporte les combinaisons de portefeuilles à variance minimale, maximale, moyenne et médiane avec 1 à n cépages blancs

Figure 3: Evolution des portefeuilles à cépages rouges à l'ajout d'un cépage



Notes: Cette figure reporte les combinaisons de portefeuilles à variance minimale, maximale, moyenne et médiane avec 1 à n cépages rouges

Figure 4: Evolution des portefeuilles à cépages blancs et rouges à l'ajout d'un cépage



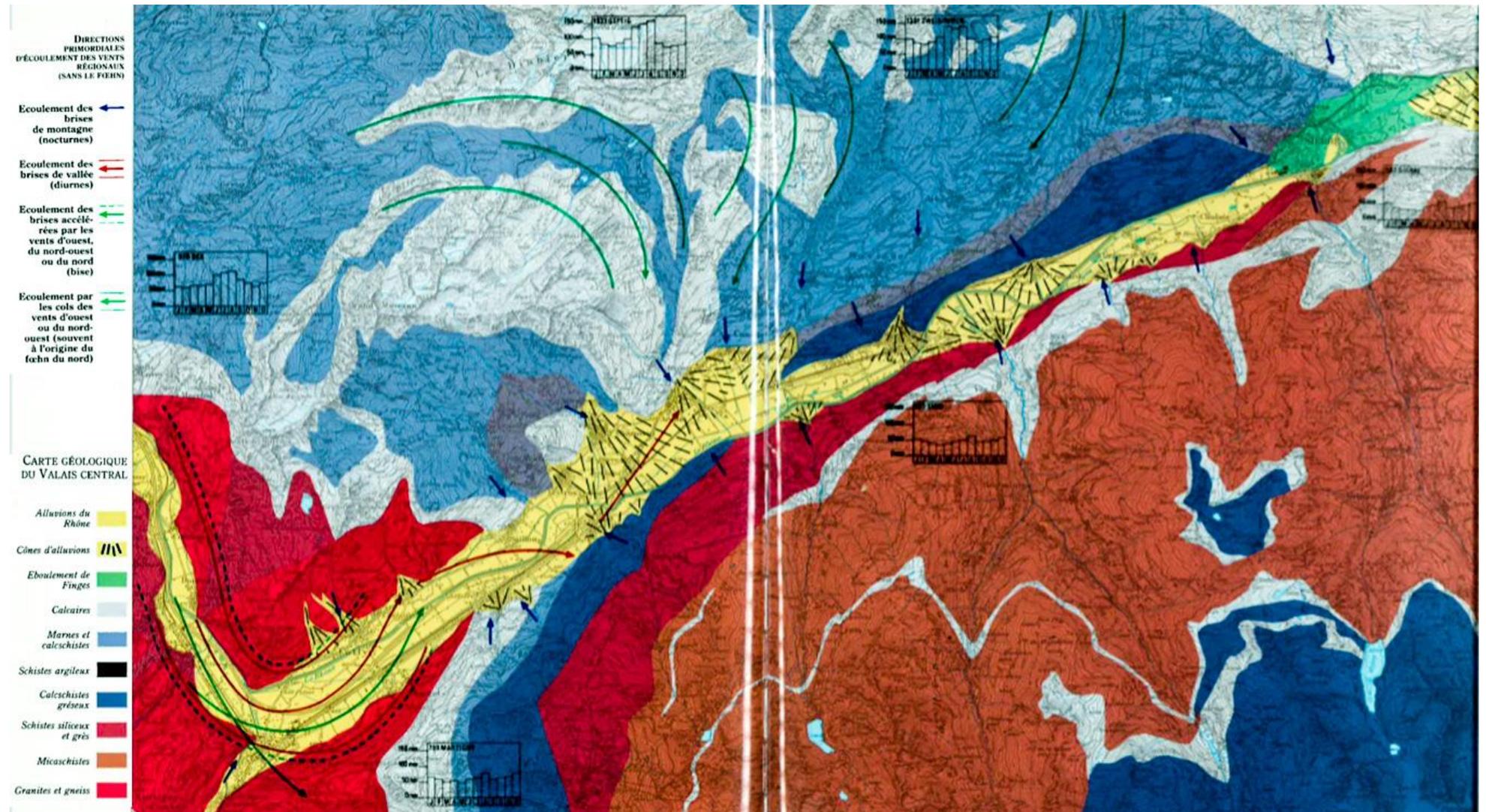
Notes: Cette figure reporte les combinaisons de portefeuilles à variance minimale, maximale, moyenne et médiane avec 1 à n cépages blancs et rouges

Illustration 1 : Stades phénologiques selon l'échelle BBCH



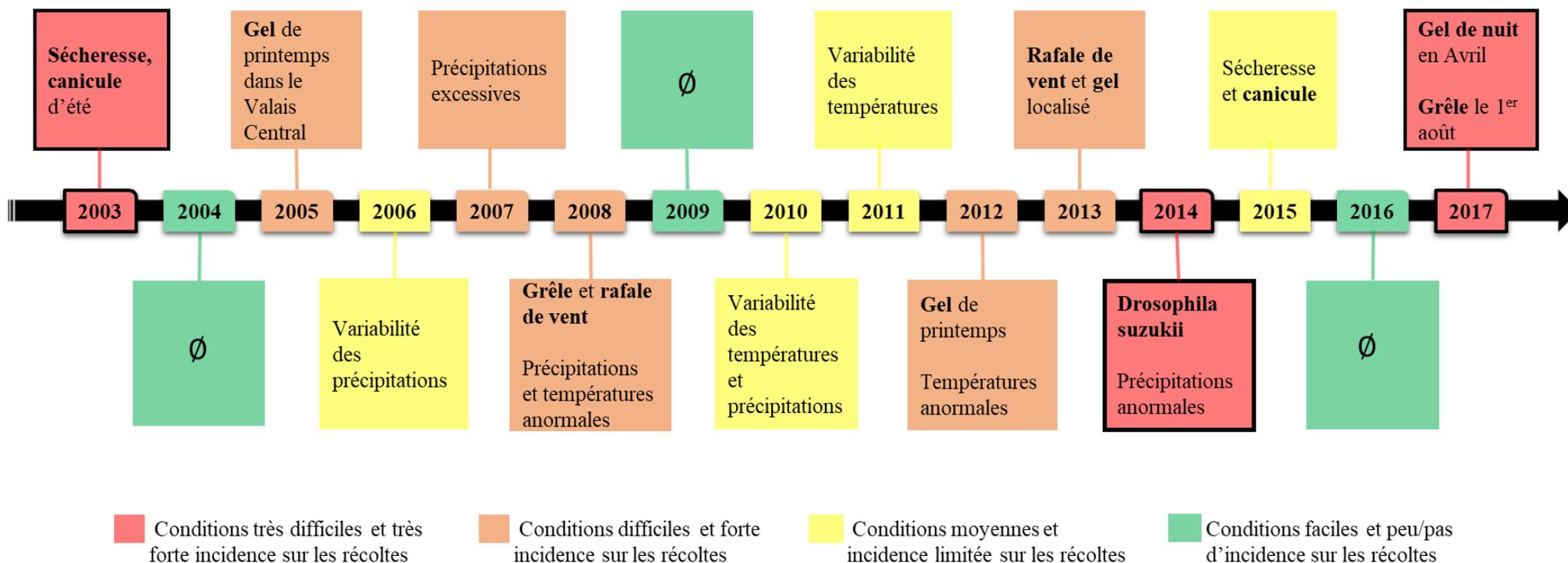
Source : Bloesch, B., & Viret, O. (2008). Stades phénologiques repères de la vigne. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, 40, 1-4.

Illustration 2 : Topographie du Valais Central et influence du Foehn



Adapté de Thurre, P. (1985). *Le Valais du Vin Terre Promise*. Sion, Valais: Robert Gilliard

Illustration 3 : Résumé des accidents climatiques par millésime



Encadré 1 : Présentation de quatre différentes caves et de leur fonctionnement

Provins : Provins est la cave la plus médaillée de Suisse. La production de cette coopérative, basée dans la capitale depuis 1930, représente 20% de la production totale valaisanne, et 10% de celle de la Suisse. Cette entreprise est donc un agent important de l'économie vitivinicole valaisanne, mais aussi suisse. Elle produit 65 000 hectolitres, provenant de 800 hectares de vignes, situées sur l'ensemble du vignoble valaisan et appartenant à 3 300 sociétaires. 80 employés travaillent dans cette compagnie pour atteindre un chiffre d'affaire de près de 60 millions de francs par année. Le but de Provins est de couvrir un maximum de gammes afin d'atteindre tous les secteurs du marché, de la grande distribution aux restaurants gastronomiques, sans négliger la clientèle privée. Elle compte une vingtaine de gammes et offre 120 vins, issus de plus de vingt cépages différents, maîtrisés par ses trois œnologues. Elle a aussi créé une société fille, Valais Mundi, afin d'élaborer deux vins d'exception, Electus et Eclat, vendus respectivement à 150 CHF et 75 CHF la bouteille sur le marché international (Provins, 2018). Cette entreprise a obtenu à travers ses traditions, une qualité irréprochable certifiée par le label Valais Excellence depuis 2004. Ses améliorations constantes et son évolution lui ont permis de gagner en reconnaissance d'année en année et obtenir la confiance de ses clients (Mémoire des Vins Suisses, 2018).

Cave la Romaine : Située à Flanthey cette petite cave a été fondée en 1989 par Joël Briguet, qui a hérité de la passion vinicole de son père, propriétaire de vignes et directeur de pépinières. Elle s'est ensuite agrandie petit à petit, toujours sous les rênes du fondateur qui, à travers son acharnement et son dynamisme, a su saisir les opportunités afin de devenir une cave renommée et de qualité du Valais. Son domaine s'étend de Sion à Sierre sur plus de 12.5 hectares et offrent 24 cépages différents pour la création de ses 22 vins. Sa production s'élève à 100 000 bouteilles par année, gage de qualité et non de quantité. Offrant quatre gammes distinctes afin de cibler plusieurs segments de marchés, elle s'est encore diversifiée en 2012, en promouvant un clos spécial de haute qualité, le Clos de Tsampéhro, élevée dans des chais hors normes, disponible uniquement sur réservation. (Cave la Romaine, 2018; Clos de Tsamphéro, 2018; Mémoire des Vins Suisses, 2018).

Domaine Cornulus : Acteurs importants du théâtre des vins valaisans depuis 1985, Stéphane Reynard et Dany Varone, cousins, exploitent 14 hectares de vignes, situés sur des terrasses aux pentes abruptes fortement exposées au soleil entre Sion et Sierre. Ils offrent une quarantaine de vins différents, issus de 16 cépages et produisent 100 000 bouteilles par année. Leur notoriété provient notamment de leurs vignes du Clos de Corbassières, situées sur des pentes vertigineuses au-dessus de Sion et âgées de plus de 90 ans, ce qui leur a valu notamment le titre de « Meilleur vigneron étranger de l'année 2007 » en France (Mémoire des Vins Suisse, 2018).

Rives du Bisses : Fondée en 1945 par Gaby Delaloye à Ardon, cette cave représente la passion familiale qui se transmet de génération en génération. Après avoir été secondé par son fils, la troisième et quatrième génération s'occupe actuellement de la partie viticole et de la vinification en cave mais aussi du secteur administratif et de la vente. La cave offre 25 vins différents, répartis en trois gammes. La superficie du vignoble s'étend sur 11 hectares et sa production est intégrée (Rives du Bisses, 2018).

Encadré 2: Répartition, consommation et prix des vins valaisans

La production valaisanne est essentiellement réservée à la consommation locale. La plupart des caves offre un système de réservation, similaire aux systèmes d'allocation de Bourgogne, ce qui encourage les consommateurs à rester fidèles à certains producteurs. De plus, le marché secondaire est pratiquement inexistant en Suisse, puisque les vins sont généralement achetés pour être consommés, et non à but spéculatif.

La concurrence sur le marché valaisan est fortement présente, non seulement par le grand nombre de petites caves existantes qui sature, en quelque sorte, le marché ; mais aussi, parce que les vins valaisans ont des prix globalement plus élevés. Plusieurs raisons l'expliquent: d'une part, la topographie du Valais apporte des coûts de main-d'œuvre et de production plus élevés, puisque certains vignobles sont difficiles à travailler mécaniquement; d'autre part, de nombreuses contraintes légales existent, telles que la mise en place de quotas pour l'obtention de l'AOC. Ces prix élevés établissent une pression concurrentielle supplémentaire avec les vins étrangers, disponibles en grande surface à des prix extrêmement plus bas. Par exemple, le prix moyen d'une bouteille de vin en Suisse se situe autour des 7.95 CHF¹ (Observatoire des vins en grandes distribution, 2015) alors qu'une bouteille de vin en France atteint un prix moyen de 3.80 CHF (FranceAgriMer, 2012). De ce fait, la consommation des vins suisses par la population suisse atteint seulement 35% de la consommation totale, contre 24% de vins italiens et 15% de vins français (Swiss Wine, 2018). De plus, le Valais s'est focalisé sur la production de vin de haute qualité depuis 1966, lors de la fondation de la Chartre Saint-Théodule par d'importants acteurs de l'économie vitivinicole valaisanne, Louis Imhof, Simon Maye et Charles Caloz. De plus en plus de producteurs ont rejoint cette chartre depuis sa fondation, dans l'idée de faire du Valais, une région connue pour ses vins de qualité et non pour sa quantité de production.

¹ Ce chiffre est probablement sous-estimé car cette moyenne est basée sur les prix en supermarché qui ont tendance à avoir des prix inférieurs à ceux offerts par les caves en vente directe