



HAL
open science

Mise en place d'une sélection massale de Cabernet franc au Château Angélu.

Étienne Moreau

► **To cite this version:**

Étienne Moreau. Mise en place d'une sélection massale de Cabernet franc au Château Angélu.. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04260828

HAL Id: dumas-04260828

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04260828>

Submitted on 26 Oct 2023

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

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

MÉMOIRE

Présenté à l'Université de Bordeaux pour
l'obtention du
Diplôme National d'Œnologue

Par Etienne MOREAU

Sous la direction de Benjamin LAFORET

**Mise en place d'une sélection massale de Cabernet franc au
Château Angéhus.**

ANGELUS



REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à mon apprentissage durant ce stage et à la rédaction de ce rapport.

Tout d'abord, je remercie la famille de Bouïard de Laforest de m'avoir généreusement accueilli au sein de leur belle propriété. Je voudrais adresser toute ma reconnaissance à Hubert de Bouïard pour la journée de consulting à ses côtés, sa bienveillance et ses enseignements.

Je tiens à remercier Benjamin Laforêt, mon maître de stage de m'avoir donné la chance de pouvoir agir en toute autonomie, ainsi que pour ses conseils et sa disponibilité. Je lui suis très reconnaissant pour toute son implication durant le stage, que ce soit pour échanger nos idées et mettre en place des axes de travail ou que ce soit pour partager son savoir sur la viticulture et l'œnologie d'aujourd'hui.

J'adresse également mes remerciements à François Lezian, chef de culture, ainsi que son équipe pour leur bienveillance et les enseignements qu'ils m'ont transmis. Je remercie le pôle manuel pour leur sympathie et d'avoir fait des travaux manuels un moment convivial.

Je souhaite témoigner ma reconnaissance auprès de Claire Estager pour les documents fournis et les réponses à mes questions. Ainsi qu'à Sullivan Compadre et Jean-Charles Dugos, respectivement maîtres de chai du Château Angélu et du chai Carillon pour leur nombreux conseils sur les travaux de chai.

Je souhaite remercier l'équipe de stagiaires et d'apprentis pour l'ambiance joviale apportée au château. Ils ont fait de mon deuxième millésime 2022 un souvenir mémorable.

Enfin, je remercie mes professeurs de l'ISVV et de Bordeaux Sciences Agro avec lesquels j'ai échangé pour l'aboutissement de ce mémoire.

RÉSUMÉ

Château Angéus, Grand Cru de Saint-Émilion est une exploitation familiale produisant des vins rouges à haute valeur ajoutée. Dans l'optique d'améliorer continuellement la qualité des vins, plusieurs expérimentations sont mises en place au sein de l'exploitation. Cette année, la première phase d'une sélection massale sur Cabernet franc. Dans un contexte de changement climatique, le cycle de la vigne est perturbé, les vins sont moins acides, plus riches en alcool et les arômes développés ne correspondent plus aux goûts des consommateurs. Les clones agréés ne répondent plus aux critères des viticulteurs. La diversité génétique issue de la sélection des vieux pieds de Cabernet Franc entraîne la conservation d'une diversité intra-variétale qui est une force pour l'adaptation au changement climatique puisque les interactions des génotypes avec l'environnement diffèrent. La sélection des génotypes sur les critères agronomiques, culturels et œnologiques est dans l'objectif d'améliorer la qualité des vins par l'adaptation du vignoble à ces changements. Il a été observé au cours de cette étude que les individus de la sélection massale présentent en moyenne une fertilité plus importante et moins de coulure ainsi qu'une sensibilité aux maladies cryptogamiques plus faible que les clones agréés par l'IFV pris comme témoin. Cependant, ils présentent des baies et une compacité de la grappe plus élevées. L'étude œnologique et sensorielle n'a pas permis de mettre en évidence la différence significative de qualité entre le vin issu de la sélection massale et celui des clones agréés témoins. Cette étude aspire à être améliorée et renouvelée pour s'affranchir de l'effet millésime.

Mots-clés : sélection massale, matériel végétal viticole, Cabernet franc, diversité intra-variétale, changement climatique, Grand Cru, Bordeaux.

ABSTRACT

Château Angéus in Saint-Émilion is a family farm which produces red wines with high added value. In order to improve the quality of the wines, several experiments are set up by the technical team. This year, the first phase of mass selection on Cabernet franc is established. In a context of climate change, the vine cycle is disrupted, the wines are less acidic, richer in alcohol and the developed aromas no longer correspond to the tastes of consumers. Approved clones no longer meet the wine growers' criteria. The genetic diversity resulting from the selection of old Cabernet Franc plants leads to the conservation of an intra-varietal diversity that is an asset for adaptation to climate change thanks to the interactions of genotypes with the different environment. The selection of genotypes based on agronomic, cultural and oenological criteria is aimed at improving the quality of wines by adapting the vineyard to these changes. It was observed in this study that plants of massal selection have, on average, higher fertility and less dripping as well as lower susceptibility to cryptogamic diseases than IVF-approved control clones. However, they have berries and higher cluster compactness. The oenological and sensory study did not reveal the significant difference in quality between the wine from the massal selection and that of the approved control clones. This study aspires to be improved and renewed in order to consider the vintage effect.

Keywords : massal selection, vineyard plant material, Cabernet franc, intra-varietal diversity, climate change, Grand Cru, Bordeaux.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ	V
ABSTRACT	V
TABLE DES ACRONYMES.....	IX
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	X
TABLE DES ANNEXES.....	XI
INTRODUCTION	3
PARTIE I : CONTEXTE ET ENVIRONNEMENT	5
I. Les vignobles du libournais : un environnement destiné à la production de grand vin.	5
II. Un changement de climatologie du vignoble considérable.	7
III. Le Château Angélu dans son environnement.	9
PARTIE II : CONDUITE DU VIGNOBLE.....	17
I. Un vignoble morcelé.	17
II. Itinéraire technique viticole.	19
PARTIE III : VINIFICATION ET ÉLEVAGE	31
I. Segmentation de l'appareil de production vinicole.	31
II. Itinéraire technique vinicole.	31
III. Analyse critique du millésime.	37
PARTIE IV : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	39
I. LA DIVERSITE INTRA-VARIETALE.....	39
II. LA SELECTION CLONALE EN FRANCE	39
III. LA SELECTION MASSALE	41
IV. LA REGLEMENTATION EN MATIERE DE PLANTATION DE VIGNE.....	43
V. PROBLÉMATIQUE	43
PARTIE V : MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	45
I. DEMARCHE GENERALE	47
II. DISPOSITIF ET MATERIEL VEGETAL.....	47
III. DISPOSITIF DE SELECTION DES PIEDS.	49
IV. OUTILS DE CARACTÉRISATION AMPÉLOGRAPHIQUE	53
V. LES CRITERES DE SUIVI AGRONOMIQUE.	53

VI. ETUDE CENOLOGIQUE	57
VII. ANALYSE DES DONNEES.	63
PARTIE VI : RÉSULTATS	63
I. DIFFERENCIATION DES MASSALES DES CLONES COMMERCIAUX.	65
II. RESULTATS AGRONOMIQUES.....	67
III. SUIVIE CENOLOGIQUE.....	73
PARTIE VII : DISCUSSION	77
I. Bilan et limite de la prospection.....	77
II. Perspectives de la sélection massale.	79
CONCLUSION GÉNÉRALE	81
BIBLIOGRAPHIE.....	83
ANNEXES.....	92

TABLE DES ACRONYMES

AB	Agriculture Biologique
ACP	Analyse des Composante Principales
AOC	Appellation d'Origine Contrôlé
ArMv	Arabidopsis Mosaic virus
AT	Acidité Totale
AV	Acidité Volatile
AVS	Aquitaine Viti Service
C/N	Carbone sur Azote
CAH	Classification Ascendante Hierarchique
Cf	Cabernet franc
ELISA	Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay
ENTAV	Etablissement National Technique d'Amélioration de la Viticulture
FA	Fermentation Alcoolique
FD	Flavescence Dorée
FML	Fermentation Malo-Lactique
GFA	Groupement Foncier Agricole
GLRaV	Grapevine Leafroll-associated virus
HPLC-DAD	Chromatographie Liquide Haute Performance - Détecteur Alliance à barettes de diode
HT	Hors Taxes
ICV	Institut Coopératif du Vin
IFV	Institut Français de la Vigne et du Vin
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
ISO	Organisation internationale de normalisation
MS	Matière sèche
OAD	Outils d'Aide à la Décision
OIV	Organisation Internationale de la Vigne et du Vin
PAE	Pourcentage des Anthocyanes Extractibles
PV	Petit Verdot
PVPP	Polyvinylpyrrolidone
R&D	Recherche et Développement
RPT	Richesse Polyphénolique Totale
RT-PCR	Reverse transcription polymerase chain reaction
SA	Société Anonyme
SO ₂	dioxyde de soufre
SO ₄	Sélection Oppenheim n°4
TAVp	Titre Alcoométrique Volumique potentiel
TVM	Travaux Viticole Mourgues
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures :

Figure 1 : Profil de sol du haut de coteau : PLANOSOL sedimorphe.

Figure 2: Profil de sol du bas de coteau : ARENOSOL redoxique.

Figure 3 : Encépagement des rouges des vignobles du Château Angélu.

Figure 4 : Précipitation et températures relevées au Château Angélu au cours du millésime 2022.

Figure 5 : Dates de traitement en fonction des précipitations sur la période du 31/03 au 31/08.

Figure 6 : Différents niveaux de précision de sélection massale [54].

Figure 7 : Démarche générale de la sélection massale.

Figure 8 : Situation géographique des parcelles de sélection massale de Cabernet franc au Château Angélu.

Figure 9 : Repousse de porte greffe.

Figure 10 : Descripteurs ampélographiques des parties végétales et leur critère de notation.

Figure 11 : Descripteurs ampélographie de la morphologie de la grappe.

Figure 12 : Boxplots de dispersion des notes attribuées aux descripteurs des parties végétales des vignes.

Figure 13 : Dendrogramme des descriptions des parties végétales des vignes.

Figure 14 : Boxplots de dispersion des notes attribuées aux descripteurs de la morphologie de la grappe.

Figure 15 : Dendrogramme des descriptions de la morphologie de la grappe.

Figure 16 : Boxplot du pourcentage d'azote pétiolaire selon la méthode Dumas.

Figure 17 : Qualification de la vigueur selon l'azote pétiolaire de chaque individu.

Figure 18 : Boxplot du nombre de grappe par pied et du nombre de grappe par rameau.

Figure 19 : Qualification de la charge de chaque individu.

Figure 20 : Qualification de la charge par rameau de chaque individu.

Figure 21 : a. Boxplot de l'estimation de la coulure pour chaque individu en pourcentage. b. Boxplot de l'estimation de la coulure en pourcentage sans les individus ayant une coulure trop importante.

Figure 22 : ACP de la morphologie de la grappe des individus de massale.

Figure 23 : Boxplot du diamètre et du poids des baies.

Figure 24 : ACP des caractéristiques agronomiques des individus de massales.

Figure 25 : Profil de dégustation des baies.

Tableaux :

Tableau 1 : Récapitulatif des sols du vignoble et leurs caractéristiques principales.

Tableau 2 : Porte-greffes utilisés au Château Angélu et leurs propriétés associées [26].

Tableau 3 : Clones de Cabernet franc les plus utilisés dans le bordelais et leurs caractéristiques.

Tableau 4 : Caractéristiques de la morphologie de la grappe des groupes d'individus de massale.

Tableau 5 : Groupes d'individus de massale par CAH et leurs caractéristiques agronomiques.

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Carte des AOC du Libournais (Hachette Vin).

Annexe 2 : Carte des sols du vignoble de Saint-Émilion (Syndicat Viticole de Saint-Émilion).

Annexe 3 : Evolution de la température moyenne annuelle (mesures prises tous les jours à 18h) en fonction de l'année [11].

Annexe 4 : Parcellaire du Château Angélu. Rouge : Merlot ; Vert : Cabernet franc ; Bleu : Petit Verdot.

Annexe 5 : Chiffre d'affaires du Château Angélu pour les années comptables 2019, 2020 et 2021.

Annexe 6 : Vitesse de travail des travaux mécaniques.

Annexe 7 : Temps et coût des travaux manuels au Château Angélu.

Annexe 8 : Protocole de prélèvement des pétioles (Laboratoire Auréa).

INTRODUCTION

La première année d'étude à l'Institut des Sciences de la Vigne et du Vin se termine par un stage d'une durée de 6 mois dans une exploitation viticole de mai à novembre pour l'obtention du Diplôme National d'Œnologue.

Le Château Angélu, 1^{er} grand cru classé A jusqu'au renouvellement du classement des crus de Saint-Émilion en 2022, produit des grands vins de garde de renommée mondiale. Ce domaine est une propriété appartenant à la famille de Boüard de Laforest depuis 1782. Aujourd'hui, la 8^{ème} génération représentée par Stéphanie de Boüard-Rivoal aux côtés de son père Hubert de Boüard de Laforest continue d'honorer la prestigieuse histoire du Château Angélu.

Du fait de la combinaison d'une pédologie remarquable, d'une climatologie avantageuse, et de personnels passionnés et compétents, le terroir exceptionnel qu'acquiert le Château Angélu le propulse au-devant de la scène des grands vins de Bordeaux.

Le vignoble du Château Angélu s'étend aujourd'hui sur 78 hectares. 27 hectares de vignes sont utilisés pour produire le Château Angélu Grand Cru Classé A, 25 autres hectares sont répartis sur les appellations d'origine contrôlé Saint-Émilion et Saint-Émilion Grand Cru afin d'y produire le Carillon d'Angélu ainsi que le N°3 d'Angélu. De plus, 26 hectares de vignes sont cultivés sur l'appellation Castillon Côtes de Bordeaux pour la production du Tempo d'Angélu, commercialisé sous l'appellation Bordeaux ainsi que pour la production du grand vin blanc d'Angélu.

Cette année, le vignoble est en très bon état, aidé par une pression sanitaire moins importante que l'an passé et dû à un travail exigeant mené par les équipes techniques dans les vignes. Cependant, les conditions climatiques ont tout de même impacté la physiologie de la vigne. Après un gel printanier où les dégâts ont été minimisés, une partie du vignoble d'Angélu a été touchée par la sécheresse. Les fortes chaleurs ont eu pour conséquence des blocages de maturité sur les jeunes vignes.

Avec la volonté continuelle d'améliorer la qualité des vins tout en s'adaptant à l'environnement et aux changements climatiques et dans une démarche de développement agro écologique, les équipes du Château mettent en place des expérimentations chaque année. Ainsi, la première phase de la sélection massale des Cabernet franc m'a été confiée afin de conserver la diversité génétique du matériel végétal en plus du caractère qualitatif agronomique et organoleptique de ces vieux pieds.

Ce document présente tout d'abord le Château Angélu dans son environnement et le contexte en 2022. Ensuite, les appareils de production et les pratiques viticoles et vinicoles sont présentés. Enfin, la présentation de la mise en place de la première phase de la sélection massale des Cabernet franc, sa réalisation, les conclusions et perspectives finalisent le mémoire.

PARTIE I : CONTEXTE ET ENVIRONNEMENT

I. Les vignobles du libournais : un environnement destiné à la production de grand vin.

1. Présentations des Appellations d'Origine Contrôlée.

Le vignoble du Château Angélus s'étend sur les Appellations d'Origine Contrôlée Saint-Émilion, Saint-Émilion Grand Cru et Castillon Côtes de Bordeaux où sont produits des vins rouges tranquilles (Annexe 1). Elles se situent sur la rive droite de la Dordogne entre la ville de Libourne et celle de Castillon-la-Bataille. Le vignoble de Saint-Émilion, classé au patrimoine mondial de l'humanité par l'UNESCO est la plus grande appellation communale de France avec 5500 ha répartis sur 8 communes (Annexe 1). Il regroupe les AOC Saint-Émilion et Saint-Émilion Grand Cru au sein duquel les propriétés peuvent aspirer au classement dont la hiérarchie est la suivante : Grand Cru Classé, 1^{er} Grand Cru Classé et 1^{er} Grand Cru Classé A. Les prétendants peuvent soumettre leur dossier tous les dix ans lorsque le classement est revisité. Il reste néanmoins critiqué [1]. Quant à lui, le vignoble de Castillon, limitrophe de celui de Saint-Émilion et aux portes du Périgord, donne des vins issus du même plateau calcaire que Saint-Émilion. Auparavant dénommée Côtes de Castillon, l'AOC s'associe avec trois autres Côtes bordelaises (Blaye, Cadillac et Francs) pour former l'union des Côtes de Bordeaux tout en préservant l'identité de chacune. C'est ainsi que depuis 2008, l'AOC Côtes de Castillon devient Castillon Côtes de Bordeaux. Situé sur neuf communes dont Castillon-la-Bataille, le vignoble d'environ 1800 ha produisant 160 000 hL par an est composé d'un nombre important de vignes âgées aptes à produire un raisin concentré. On y retrouve des vins souples dont la structure tannique est fine avec des arômes de fruit rouge, de violette et de fruit à noyau. Sur le coteau et le plateau les vins davantage structurés sont plus propices à la garde. Pour les vins issus des AOC Saint-Émilion et Saint-Émilion Grand Cru où sont produits environ 200 000 hL par an, le potentiel de garde est plus important, allant d'une dizaine d'années à plus de trente ans lors de grands millésimes [2]. Ils s'expriment avec des arômes de fruits mûrs, des notes d'épices et une structure tannique souple et complexe.

2. Pédologie du vignoble de Saint-Émilion et de Castillon.

Constitué à l'ère tertiaire, le sous-sol de la région de Saint-Émilion est formé de roches sédimentaires, les molasses du Fronsadais. Elles sont recouvertes d'une faible épaisseur d'argile ou de calcaire lacustre selon les endroits. Avec l'érosion, la molasse est à l'affleurement sur les coteaux. Aujourd'hui, sur les sols du plateau de Saint-Émilion on retrouve des sols calcaires limono-argileux et argileux peu épais. On y trouve sur les versants les plus abrupts, des sols calcaires et argilo-limoneux tandis qu'au nord-ouest de l'appellation, les sols sont sablo-argileux et graveleux. Au sud de l'appellation, dans la plaine de la Dordogne, les sols sablo-graveleux se sont formés sur les alluvions quaternaires (Annexe 2) [3].

Issus du même plateau calcaire que Saint-Émilion, le vignoble de Castillon exposé plein sud présente aussi des sols variés. Argilo-limoneux en pieds de côte et sablo-graveleux en bas des coteaux près des Dordogne, le sol des coteaux et du plateau se trouvent davantage argilo-calcaire.

3. Matériel végétal autorisé.

Les cépages autorisés en appellation Saint-Émilion et Saint-Émilion Grand Cru sont le Cabernet Sauvignon, le Cabernet franc, le Cot, le Merlot noir et le Carmenère. Le Petit Verdot est accepté en tant que cépage accessoire à hauteur de maximum 10% de l'encépagement [4]. Selon le cahier des charges des

appellations Côtes de Bordeaux, les vins sont issus de Cabernet Sauvignon, Cabernet franc, Cot, Merlot ainsi que de Carmenère et de Petit Verdot comme cépages accessoires. La proportion de ces cépages ne doit pas dépasser respectivement 10 % et 15 % de l'encépagement total [5].

4. Le marché du vignoble bordelais.

La commercialisation des vins de Bordeaux est particulière. Elle utilise la place de Bordeaux comme plateforme de vente aux négociants. Les vins sont vendus avant leur mise en bouteille : c'est ce que l'on appelle le système des primeurs [6], [7]. Les châteaux s'épargnent ainsi le stockage et la commercialisation de leur vin et ont une entrée de trésorerie avant que le vin ne soit livré. Ce système de commercialisation est historique et a participé à la notoriété de la région bordelaise du fait de l'export de vin depuis le XVII^{ème} siècle. Cela participa à la distribution des vins partout dans le monde ainsi qu'à la mise en place des « crus ». Aujourd'hui, sur les 119 000 ha de vignes exploités à Bordeaux répartis sur 60 appellations, ce qui en fait le plus vaste et complexe réseaux d'appellation au monde, seul 1% à 2% des vins finis sont des grands crus [8]. De plus, les primeurs s'adressent presque exclusivement aux vins hauts de gamme. Cela fragilise encore plus les autres châteaux dont la notoriété n'est pas aussi importante que les grands crus, et qui doivent alors s'occuper eux-mêmes de l'ensemble de la distribution. Les châteaux et propriétés moins connus pâttissent aujourd'hui de grandes difficultés financières. On observe parfois que le Bordeaux générique se monnaie aux alentours de 1€ HT le litre alors que les grands crus sont sujets à d'excessive spéculation dont eux même ne contrôlent pas. On observe ainsi une remise en question du système des primeurs et du prix des grands crus [9].

II. Un changement de climatologie du vignoble considérable.

1. Le climat de Saint-Emilion.

Le vignoble de Saint-Émilion, avec des hivers doux et des étés chauds, bénéficie d'un climat tempéré chaud dont la température moyenne annuelle est de 13,7°C. Les températures moyennes dépassent les 6°C à partir d'avril, température à laquelle la vigne commence à se développer. En 2021, la température la plus basse enregistrée est de -11,0°C ce qui reste au-dessus du seuil à partir duquel la vigne meurt qui est de -30°C. En revanche, en 2022 le mercure a atteint à plusieurs reprises les 42°C ce qui entraîne un dysfonctionnement foliaire. Pour un bon fonctionnement de l'appareil végétatif, la somme de la moyenne journalière supérieure à 10°C entre le 1er avril et le 31 octobre doit être supérieure à 1371°C dans l'hémisphère nord [10]. Le vignoble subit aussi un ensoleillement de plus de 1200h pendant la période végétative, indispensable au bon développement du matériel végétal. Enfin, influencé par l'océan, le climat de Saint-Émilion est caractérisé par d'importantes précipitations tout au long de l'année. Lors du développement végétatif, la moyenne de la somme des précipitations depuis 1991 dépassent les 400mm. Ainsi, le vignoble subit peu de stress hydrique jusqu'à présent.

Cependant, les moyennes sur 30 ans ne reflètent pas l'hétérogénéité des conditions climatiques des millésimes. En effet, le millésime 2022, très sec, chaud et ensoleillé ne ressemble pas à celui de 2021 dont l'été fut pluvieux et peu ensoleillé se traduisant par des vins différents. De plus, il arrive que des gelées printanières causent d'innombrables dégâts sur le vignoble.

2. Le changement climatique mis en évidence.

Épisodes climatiques violents de plus en plus réguliers, augmentation des températures et régimes de précipitations impétueux, l'agriculture est la première à subir les conséquences du changement climatique. La région de Bordeaux n'échappe évidemment pas à ces changements climatiques. La température moyenne annuelle augmente de manière flagrante depuis les années 1970 et cela de manière constante (Annexe 3). En effet, la température moyenne annuelle de Bordeaux a augmenté de 1,3°C en un siècle [11].

3. Les conséquences du changement climatique sur la qualité du raisin.

Le réchauffement global du climat et les sécheresses estivales entraînent une maturation plus rapide des raisins au détriment de sa qualité. A Saint-Émilion, la date des vendanges ne cesse d'avancer depuis les années 1980 [12]. Et globalement, c'est toute la phénologie de la vigne qui est avancée. De plus, les baies sont exposées à des températures plus élevées lors des vendanges ce qui modifie le profil des raisins vinifiés et complique la vinification.

De plus, la hausse des températures, notamment en période de maturation, accroît le taux de sucre dans le jus des baies et donc le taux d'alcool. L'élévation du degré alcoolique se constate notamment chez le Merlot. L'acidité diminue inversement proportionnellement. Cette augmentation d'alcool et cette baisse d'acidité ont un impact défavorable sur la qualité du vin [13]. Il est moins stable et a un potentiel de garde inférieur. Le manque d'acidité est aussi favorable aux développements microbiens responsables de défauts dans les vins. Aussi, les consommateurs sont réfractaires aux vins à un taux d'alcool élevé [14].

Ensuite, l'exposition des raisins à des températures excessives est préjudiciable à la concentration en composés phénoliques du goût, un critère primordial dans la qualité des vins rouges [15]. Concernant le développement d'arômes et les précurseurs d'arôme, le réchauffement du climat a pour conséquence une baisse de la quantité du 2-méthoxy-3-isobutylpyrazine. De plus, les températures plus élevées pendant la maturation bénéficie à la production d'arômes et précurseurs d'arômes aux nuances fruitées et florales, monoterpènes et esters [16]. Les travaux menés en Aquitaine sur le Merlot ont montré des concentrations importantes de composés chimiques appartenant aux familles des lactones et furanones, correspondant aux fruits sur-mûris, figue, noix de coco, lors de millésimes chauds [13].

Cependant, ces changements ne sont pas dus exclusivement au réchauffement climatique. Les pratiques viticoles telles que la réduction des rendements et le palissage des vignes contribuent à ces observations. De plus, Robert Parker a aussi contribué à favoriser les vins aux arômes de fruits sur-mûris [17].

III. Le Château Angélu dans son environnement.

1. Historique du Château Angélu.

L'histoire du Château Angélu est fortement liée à la famille de Bouard de Laforest. Au XVIIIème siècle, l'union de la fille de Jean de Bouard de Laforest, garde du corps du Roy, avec Charles Souffrain de Lavergne, propriétaire du Château Mazerat, marque l'arrivée de la famille dans le monde viticole. A cette époque, le château ne compte que 3 ha et porte le nom de Château Mazerat. En 1921, Maurice de Bouard de Laforest, issus de la 5^{ème} génération de la famille, prend les rênes de la propriété et contribua au style inimitable des vins du château par la plantation d'une forte proportion de Cabernet franc [18]. Par la suite, le vignoble s'agrandit avec 1,9 ha de plus nommé « Clos de l'Angélu ». Ce nom vient du fait que l'on pouvait

autrefois entendre sonner l'angélus à la fois par les cloches de la chapelle de Mazerat et celles des églises de Saint-Martin et de Saint-Emilion à cet endroit précis.

Maurice de Boüard est réellement le premier viticulteur de la famille. Par la suite, Jacques et Christian de Boüard de Laforest, poursuivent le travail entamé sur l'exploitation familiale pour classer la propriété en 1954. Cette dernière s'agrandit pour atteindre une vingtaine d'hectares en 1985. C'est durant cette année qu'Hubert de Boüard de Laforest prend la tête de la propriété, après avoir obtenu son diplôme d'œnologie à la faculté d'œnologie de Bordeaux. Fort de son savoir enseigné par d'Émile Peynaud et de Jean Ribéreau-Gayon, Hubert met en place les connaissances acquises : la surface foliaire est surélevée et les vendanges en vert sont introduites sur la propriété. Ce travail est réalisé avec le chef de culture Didier Vallade qui aura travaillé toute sa vie au sein de la propriété. Avec tous ces efforts, le Château Angélus est dans un premier temps classé Premier Grand Cru Classé B en 1996. Puis, en 2012, Château Angélus devient Premier Grand Cru Classé A, aux côtés des châteaux Ausone, Cheval Blanc, et Pavie [18]. Cette date marque aussi l'arrivée sur la propriété de Stéphanie de Boüard-Rivoal. Par ailleurs, à partir de 2018, une conversion vers l'agriculture biologique a été envisagée. Après un millésime 2021 compliqué et la perte d'une grosse partie de la récolte, il a été décidé l'abandon de la certification AB mais n'en est pas moins que le château s'inscrit dans une démarche environnementale plus vaste. En effet, une ferme d'une dizaine d'hectare a été achetée dans l'objectif de fournir divers aliments aux restaurants du château, Le Logis de la Cadène et le Gabriel.

Enfin, en 2018 et 2019, le vignoble s'est agrandi avec l'achat de 26 ha à Castillon-la-Bataille et Saint-Colombe et la construction d'un nouveau chai à Saint-Magne-de-Castillon dans le but d'augmenter les volumes de vins produits et d'apporter sur le marché une nouvelle marque plus abordable.

2. Les facteurs de production du Château Angélus.

Angélus se divise en deux grandes sociétés : un Groupement Foncier Agricole pour le parcellaire et les bâtiments et une Société Anonyme pour tout ce qui concerne l'activité qui se déroule sur le GFA, s'agissant aussi bien de la production, de la communication ou de la commercialisation. Cette division du foncier et de l'activité en deux sociétés date de 1995, historiquement l'activité et le foncier d'Angélus étaient regroupés dans le GFA.

a. Le facteur travail.

Actuellement, une quarantaine de personnes travaillent dans la SA Château Angélus. Cette équipe se répartie trois grands secteurs d'activités : le pôle production, le pôle commercialisation, marketing et communication et le pôle ressources humaines.

Le pôle production représente l'effectif le plus important, avec près de la moitié du personnel. En effet, l'équipe viticole managée par un chef de culture est très fournie avec une dizaine de tractoristes et une équipe de saisonnier encadrée. Ils agissent sur le parcellaire d'Angélus et de Castillon. Les deux chais ont leur maître de chai qui sont régulièrement accompagnés d'apprentis ou de stagiaires. Enfin, toutes ces équipes sont coordonnées par une direction technique composée d'un directeur technique et d'Hubert de Boüard de Laforest qui malgré avoir laissé la présidence de la propriété à sa fille Stéphanie de Boüard-Rivoal continue à s'investir dans l'entreprise, notamment dans le pôle production.

b. Le foncier et le capital immobilisé.

Le parcellaire d'Angélus (Annexe 4) se divise en trois parcellaire : 27 hectares en AOC Saint-Émilion classées en 1er Grand Cru Classé 'A' : secteur Angélus ; 25 hectares en AOC Saint-Emilion : secteurs Figeac, Hyon, Vallade, Roc, Angélus ; et 26 hectares en AOC Castillon Côtes de Bordeaux : secteurs Sainte-Colombe, Migaud et Castillon.

A propos des infrastructures du Château Angélus, elles sont réparties de la façon suivante :

- Le château accueillant trois cuviers et deux chais à barrique pour la confection du premier vin. On retrouve aussi dans le château les bureaux de la direction et du pôle production viticole ainsi que les salles de réception et de bureaux pour le pôle communication-marketing-commerce.
- L'équipe viticole quant à elle bénéficie d'un nouveau garage viticole pouvant accueillir tout le matériel agricole et le bureau du chef de culture.
- Le chai Carillon à Saint-Magne-de-Castillon composé d'un grand cuvier, de chais à barrique et de salles de stockage.
- Un garage viticole accueillant le matériel destiné à l'entretien du parcellaire sur Castillon est présent sur le site du Chai Carillon.
- Un bâtiment accueillant les bureaux du pôle comptabilité et ressources humaines.
- Des maisons pour le logement du personnel et des stagiaires.

Les équipements matériels utilisés aux vignobles et aux chais seront présentés dans leur partie respective.

c. Le capital.

La vente des vins produits par le Château Angélus est la principale source du chiffre d'affaires de la société. Leur prix est explicable par le fait qu'ils font partie des plus grands de l'AOC et sont reconnus pour leur qualité à l'international. De plus, leur coût de production est très élevé. Nous détaillerons ces coûts dans la partie viticulture.

Sur les précédentes années, le chiffre d'affaire semblait augmenter. Cependant, on observe sur ces trois dernières années (Annexe 5) que le chiffre d'affaire du millésime 2020 a fortement baissé. Cette diminution est en partie due à la crise du Covid-19 ayant impacté la commercialisation du vin. De plus, les variations du chiffre d'affaires peuvent aussi s'expliquer par la variation du nombre de cols produits chaque année, dépendant essentiellement des conditions du millésime.

3. La production du Château Angélus et leur commercialisation.

Les équipes du Château produisent 8 vins. Château Angélus Grand Cru Classé A, Carillon d'Angélus, N°3 d'Angélus, Tempo d'Angélus, Le Clos du Milieu, le Blanc du Milieu ainsi que le Grand Vin Blanc d'Angélus. De plus, une sélection de Cabernet franc est utilisée pour faire le vin intitulé « hommage à Elisabeth Bouchet ». Les vins rouges sont élaborés à partir de Merlot et de Cabernet franc en majorité, accompagnés de Petit Verdot. Pour les blancs, il y a une grande proportion de Sauvignon et de Chardonnay ainsi que de Sémillon et Chenin. Les proportions varient en fonction des vins et des différents millésimes. Pour le Château Angélus, l'assemblage est constitué de Merlot (45-65%), de Cf (35-55%), et de PV (1%). La vinification est traditionnelle, avec les mêmes itinéraires techniques pour les différents vins. Elle s'effectue en cuves inox, bétons ou bois en fonction des volumes. Seul l'élevage diffère en fonction du vin : Angélus est élevé 22 mois en barriques neuves tandis que le Carillon est élevé 18 mois avec 50% de barriques neuves.

La production varie chaque année en fonction des conditions climatiques mais la tendance sur les dernières années est de produire 90 000 bouteilles du premier vin et environ 50 000 bouteilles du Carillon d'Angélus. Il en va de même pour le N°3. Pour le Tempo d'Angélus la production est d'environ 30 000 bouteilles. Le Clos du Milieu est une sélection de lots issus du Tempo d'Angélus. Pour le Blanc du milieu, il peut être considéré comme le second vin blanc. Le grand vin blanc quant à lui est produit en très petite quantité.

Concernant leur commercialisation, historiquement, Angélus vendait son vin essentiellement en primeur et gardait une partie de sa production en stock afin d'avoir des millésimes pour d'éventuels événements ou des commandes spéciales. Toute la gamme de vin n'est pas vendue de façon équitable selon les négociants. Par exemple, le N°3 d'Angélus est vendu en exclusivité à un seul négociant. Depuis 2019, la volonté du château est de réduire la vente en primeur pour développer la vente en livrable en tendant vers un objectif de 50% des ventes en primeur dans les années à venir en gardant les négociants avec lesquels les relations sont les meilleures. Cette décision est due à la volonté de mieux contrôler les points de ventes desservis par les négociants pour aller vers une distribution plus qualitative. La distribution en grande surface veut être évitée alors que la distribution chez des cavistes haut de gamme veut être privilégiée. De plus, la vente en livrable favorise l'augmentation du prix de vente par rapport à la vente en primeur, ce qui est profitable à la propriété. Les vins sont distribués en grande majorité en France mais une partie part aussi à l'étranger. Les exportations sont dirigées à plus de 50% vers les pays européens notamment de l'Europe de l'Ouest, le reste des exportations se font en grande majorité vers les Etats-Unis et l'Asie.

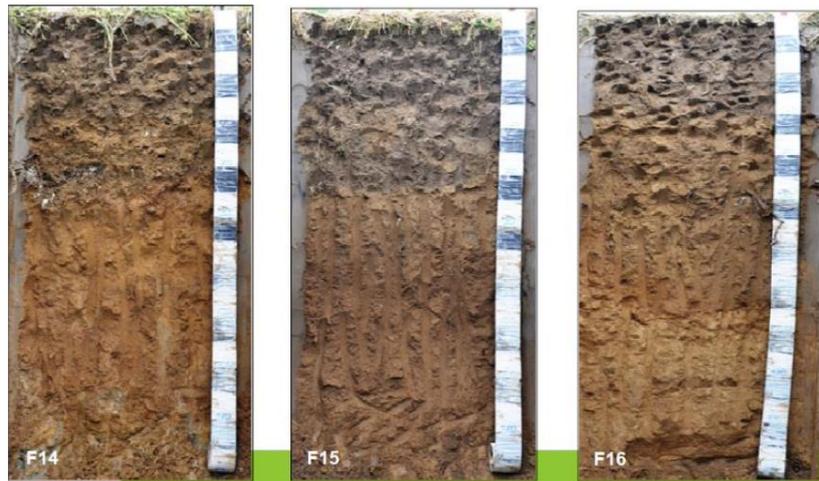


Figure 1 : Profil de sol du haut de coteau : PLANOSOL sedimorphe.

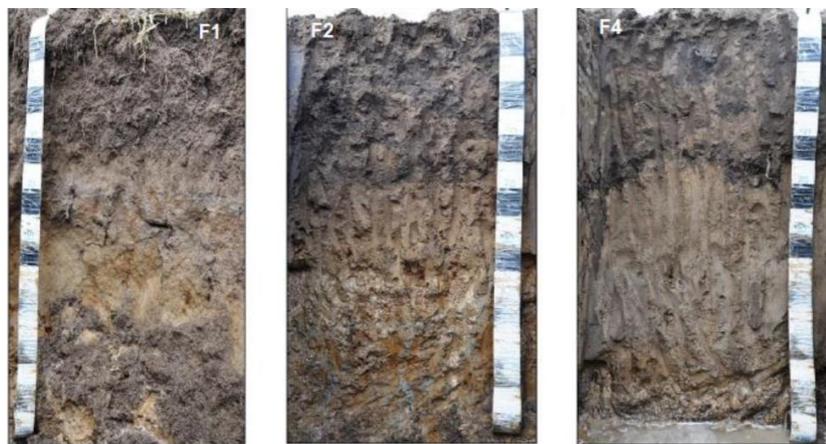


Figure 2 : Profil de sol du bas de coteau : ARENOSOL redoxique.

SECTEUR	TEXTURE DU SOL	TAUX DE M.O.	RAPPORT C/N
Angéhus	Haut de côte : Argilo-calcaire	Pauvre	Satisfaisant
	Milieu de côte : Argileux	Satisfaisant	Satisfaisant
	Pied de côte : Sablo-argileux	Satisfaisant	Satisfaisant
Saint-Émilion	Saint-Christophe des Bardes : Limoneux-sableux	Élevé	Satisfaisant
	Secteur Figeac : Sableux avec graves	Élevé	Satisfaisant
	Castillon-la-Bataille	Argilo limoneux à limoneux- argileux	Satisfaisant
Sainte-Colombe	Sablo-limoneux	Élevé	Satisfaisant

Tableau 1 : Récapitulatif des sols du vignoble et leurs caractéristiques principales.

PARTIE II : CONDUITE DU VIGNOBLE.

I. Un vignoble morcelé.

1. Parcellaire et pédologie du vignoble.

Le vignoble du Château Angélu est composé de trois vignobles distincts selon le vin auquel il est destiné à produire.

Premièrement, le parcellaire de 27 ha de vigne classées autour du château est composés de différents types de sol. On y retrouve trois zones. Les hauts sont majoritairement des sols argilo-calcaire pauvre en matière organique et avec un rapport C/N moyen, compris entre 8 et 12 (Figure 1). En milieu de coteau, le sol reste argileux mais avec une teneur en matière organique bien supérieur aux hauts. En bas de coteau, le sol argileux est surmonté d'une couche sableuse (Figure 2).

Les vignes destinées à la production du Carillon d'Angélu et du N°3 d'Angélu sont répartis sur l'aire de l'appellation Saint-Émilion. Cela a pour conséquence une diversité pédologique intéressante. Sur la commune de Saint-Christophe des Bardes, le sol est limono-sableux reposant sur le plateau calcaire de Saint-Émilion. Le taux de MO est élevé et le rapport C/N égal à 11. A contrario, le sol des vignes du secteur Figeac est très sableux avec quelques graves en surface. A la sortie du classement, les parcelles très qualitatives pourront rejoindre le premier vin.

Les vignes à destination du Tempo d'Angélu sont sur les communes de Castillon-la-Bataille et de Sainte-Colombe où le sol est sablo-limoneux avec un taux de MO important, 2,3, et un rapport C/N de 10. Sur Castillon, la texture du sol est argilo-limoneux à limono-argileux avec des taux de MO satisfaisant et un faible rapport C/N (Tableau 1). Sur ce vignoble se trouve aussi les 1,5 ha de blancs.

2. Un encépagement particulier.

Les vins produits par la société Château Angélu sont des vins d'assemblage. Le vignoble est composé majoritairement de Cabernet franc et de Merlot ainsi que de Petit Verdot dans une moindre mesure. On peut retrouver quelques pieds de Carménère dans les vieilles parcelles de Cabernet franc, dont il est semblable morphologiquement [19], [20].

Le Merlot N, cépage rouge le plus précoce de Bordeaux, représentent 68% de l'encépagement du parcellaire sur Saint-Emilion. Sur le parcellaire de Sainte-Colombe et Castillon-la-Bataille, il est représenté à hauteur de 83%. Ce cépage donnant des vins ronds et fruités est typique des vins de Saint-Émilion [21].

Cependant, toute la singularité du vin d'Angélu est la forte proportion de Cabernet franc ou Bouchet dans l'assemblage (Figure 3). En effet, représentant 28% de la surface viticole de l'appellation Saint-Émilion et Saint-Émilion Grand Cru, au Château Angélu il représente 46% de l'encépagement tandis qu'à Sainte-Colombe et Castillon-la-Bataille, il constitue 17 % du parcellaire. En complément du Merlot, le Cabernet franc apporte une fraîcheur ainsi que des notes épicées et mentholées [22]. Son acidité vient contrebalancer la concentration élevée en sucre présente dans le Merlot.

Le Petit Verdot est planté sur une parcelle de 0,28 ha seulement. Ce cépage très cassant et fragile exige une viticulture minutieuse. Il saura rendre la pareille avec une couleur profonde, des arômes de fruits frais ainsi que des tanins soyeux [23].

ENCÉPAGEMENT

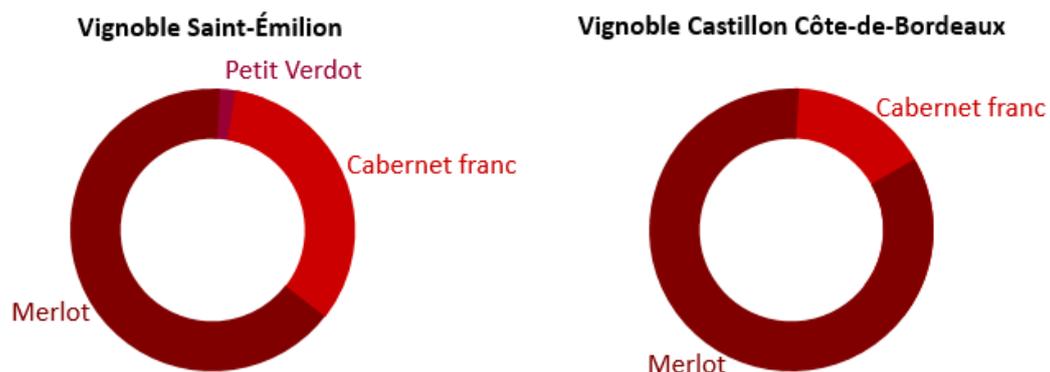


Figure 3 : Encépagement des rouges des vignobles du Château Angélus.

Porte-greffe	Sol adapté	Sensibilité à la chlorose ferrique	Vigueur conférée
101.14 MGt	Argile	Très sensible	Faible
161-49 Couderc	Argilo-calcaire	Peu sensible	Moyenne
420 A	Argilo-calcaire	Peu sensible	Faible
Fercal	Calcaire	Peu sensible	Forte
Gravesac	Sableux	Sensible	Moyenne à forte

Tableau 2 : Porte-greffes utilisés au Château Angélus et leurs propriétés associées [26].

Concernant les cépages blancs, les deux typiques du bordelais, le Sauvignon B et le Sémillon dominant, complétés par le Chardonnay et le Chenin pour atteindre les 1,5 ha. Ils sont destinés à produire le grand vin blanc d'Angélus.

Pour finir, l'encépagement de l'exploitation est modulable. En effet, grâce au surgreffage, le Chenin ne correspondant pas au profil attendus a été surgreffé par du Chardonnay [24]. De plus, des Cabernet franc ont remplacé des Cabernet Sauvignon pas assez qualitatifs sur les sols froids du saint-émilionnais [25].

3. Porte-greffes utilisés.

Les porte-greffes, essentiels à la culture de *Vitis vinifera* depuis la crise du phylloxera à la fin du XIXème, sont choisis en fonction des types de sols, des cépages ainsi que de la vigueur conférée (Tableau 2). Actuellement, une restructuration du vignoble est en cours. Après arrachage, des analyses de sols et des fosses pédologiques orientent le choix du porte-greffe [26].

4. Densité de plantation.

Du fait de la diversité du vignoble, de la répartition sur les différentes appellations et de la finalité des raisins qui y sont produits, la densité de plantation est très variable. Les vignes à Saint-Émilion produisant le grand cru classé sont plantées entre 5 000 et 11 000 pieds à l'hectare.

Les nouvelles plantations à Saint-Christophe-des-Bades sont plantées avec un écartement de 166 cm entre rang et 90 cm entre pied.

La densité n'est pas aussi importante sur le vignoble de Castillon-la-Bataille puisqu'elle varie entre 3 300 et 7 700 pieds/ha. Ces vignes sont alors mécanisées par tracteurs viticole tandis que les enjambeurs sont majoritairement utilisés sur celles plus denses.

II. Itinéraire technique viticole.

L'équipe technique est dirigée par François Lézian. Les travaux mécaniques sont accomplis par une dizaine de tractoristes. Pour les travaux manuels, ils font appel à des prestataires de services viticoles tels que Banton & Lauret à l'exception de la taille. Cependant, étant très coûteux, une équipe interne a été formée cette année, variant de 5 à 10 personnes selon la période afin de réduire les coûts et la dépendance aux prestataires.

1. Travaux hivernaux.

Avant l'hiver, les pieds morts ou malades sont arrachés manuellement puis remplacé par des jeunes pieds. C'est l'opération de racottage. Celui-ci ne doit pas dépasser 20% du nombre de pieds dans la parcelle chaque année. Ce seuil est fixé par le cahier des charges de l'appellation. Lors de la complantation, un marquant est planté pour la tenue du jeune pied et de l'engrais est apporté avant le remblai du trou pour stimuler son développement dans ce milieu concurrentiel.

En hiver, la taille est réalisée par l'équipe technique viticole qui a suivie des formations pour sa bonne réalisation. Chaque ouvrier taille environ 700 pieds par jour. Suite à l'intervention de Simonit & Sirch en 2017, l'exploitation préconise une taille respectueuse des flux de sève, appelée taille bordelaise-médocaine. Le cep est composé de deux bras sur lesquels une aste est laissé de chaque côté. Des coursons sont parfois laissés sous l'aste afin de redéfinir la forme du pied l'année suivante. Cette taille évite alors le blocage des flux de

sève. Huit yeux sont laissés sur chaque pied, répartis sur les astes et les coursons. Cependant, ce nombre est variable selon la vigueur et l'âge du pied afin d'obtenir un cep équilibré. De plus, la charge finale est modulée par l'ébourgeonnage au printemps. A la suite de la taille, les bois sont tirés puis broyés sur place ou exportés pour alimenter le compost sur le site du Chai Carillon. Profitant de l'humidité hivernale, les opérations de calage et pliage font suite aux travaux de taille.

Dans un même temps, l'entretien des nouvelles plantations sont très chronophages. En effet, durant tout l'hiver jusqu'au printemps, le palissage est installé. Sur les autres parcelles, on réalise le carassonnage. Les piquets de vigne, les leveuses et les fils cassés sont contrôlés et entretenus avant le début de la reprise végétative.

2. Entretien du sol.

A l'automne, les tractoristes passent les griffes pour aérer et aplanir les sols afin d'y accueillir les semis dans de bonnes conditions. Les semis sont composés luzerne, féveroles et orge. L'intérêt des fabacées est leur capacité de fixation de l'azote atmosphérique tandis que les graminées sont semées pour la structuration du sol. De plus, l'enherbement des sols améliore la portance des sols pour le passage des tracteurs et enjambeurs.

Au printemps, les tractoristes réalisent un décavaillonnage des pieds qu'ils ont buté après les vendanges. Afin de lutter contre les adventices indésirables sur le cavaillon, des tractoristes sont affectés au chaussage et décavaillonnage. Des outils inter-ceps tels la charrue décavaillonneuse et disque crénelés peuvent être installés sur les enjambeurs Tecnomatix 4 roues et 3 roues. Des lames bineuses peuvent aussi être tractées par les New Holland T4 et le Holder couplé à l'actisol pour venir travailler l'inter-rang non semé. Pour entretenir les inter-rangs enherbés, les tondeuses installées sur les tracteurs et les enjambeurs sont passés régulièrement. Dans les parcelles où les sols sont plus sableux, les sols sont travaillés en plein afin que l'enherbement ne concurrence pas la vigne en eau. Enfin, pour préparer les sols avant plantation, les griffes rotatives et herses rotatives sont utilisés.

3. Gestion de la fertilisation.

En hiver, un épandage est réalisé pour entretenir les potentiels des sols. Le 16 mars et 23 mars, un deuxième épandage en matière organique a été apporté. Afin de réduire les coûts de fertilisation et dans une démarche environnementale, une station de compostage a été mise en place pour réutiliser les déchets ligneux et végétaux produits par l'entreprise.

De plus, lorsque des vignes semblent chétives, par observation du feuillage, des analyses foliaires et pétiolaires sont réalisées afin d'apporter les éléments nutritifs qui lui manque.

4. Travaux en vert.

Le pôle manuel est composé de 5 à 10 saisonniers et d'un chef d'équipe en CDI. De par sa grande superficie, le château ne peut se limiter à ses équipes internes pour mener à bien en temps et en heure l'ensemble des travaux en vert sur ses 78 hectares plantés actuellement. Pour pallier ce manque de personnel, le château fait appel à deux sociétés spécialisées dans les prestations viticoles manuelles : Travaux Viticoles Mourgues et Banton & Lauret, qui fournissent au château jusqu'à 50 personnes pour les travaux d'épamprage, levage

et relevage, effeuillage, échardage, éclaircissage et vendanges. Cette main d'œuvre est le principal coût pour le pôle viticole mais elle est indispensable pour la gestion de la prophylaxie.

a. L'épamprage.

L'épamprage est l'opération correspondant à la suppression des rameaux non fructifères sur la base du tronc de la souche. Il permet l'aération du feuillage, l'élimination de la concurrence pour les rameaux fructifères et diminue considérablement le temps de taille. De plus, par la suppression des pampres, on diminue le risque de dissipation des champignons parasites.

Cette opération se fait manuellement au Château Angélus. Généralement, les premiers passages portent sur la suppression des pampres de tête et du tronc et est couplée au dédoubleage, ce qui consiste à supprimer les bourgeons secondaires. Ensuite, le nombre de passage dépend de chaque parcelle. Enfin, les repousses de porte-greffe sont aussi éliminées simultanément. Cette année, certaines parcelles ont eu besoin de 4 épamprages. Certains pampres peuvent être laissés en dessous du bras, en respectant les flux de sève afin de reformer le pied.

b. Levage.

Le levage consiste à relever les brins afin de les maintenir en position verticale entre les deux fils releveurs positionnés de chaque côté du rang, accrochés aux piquets et ensemble par des agrafes. Il est primordial de réaliser plusieurs passages lors de la croissance végétative dans le but de faciliter le passage des engins dans l'inter-rang afin d'y effectuer les travaux mécaniques. Cette année, il y a eu au minimum quatre passages par les équipes de prestataires et le pôle manuel.

Par ailleurs, un palissage efficace permet aux produits phytosanitaires de pénétrer plus facilement dans la zone des grappes.

c. Ecimage et rognage.

Une fois palissée, la vigne continue de croître. Afin de réguler sa croissance en hauteur, l'équipe de tractoriste coupe les apex à l'aide d'écimeuses/rogneuses attelées sur les enjambeurs et les tracteurs viti. La coupe des apex principaux entraîne la sortie des entre-cœurs. Cette opération est associée à la coupe de la végétation qui dépasse du palissage. On appelle cela le rognage. Ainsi, la surface foliaire est contrôlée et l'inter-rang n'est pas encombré.

d. Effeillage et échardage.

L'effeuillage consiste à enlever les feuilles à la base des rameaux, à proximité des grappes. Cela permet l'aération des grappes afin de réduire l'humidité de cette zone et ainsi réduire le risque de développement de champignon pathogène. De plus, cette opération a pour conséquence l'exposition des grappes au soleil. Cependant, à Angélus il est réalisé côté Est afin de ne pas exposer les grappes au fort ensoleillement de l'après-midi. Enfin, un dernier effeuillage est réalisé en amont des vendanges dans le but de faciliter le travail des coupeurs.

En parallèle des premiers effeuillages, les équipes réalisent l'échardage. Cette opération consiste à supprimer les entre-cœurs afin d'éviter l'entassement du feuillage et la ventilation de la zone de grappe ce qui a les mêmes conséquences que l'effeuillage.

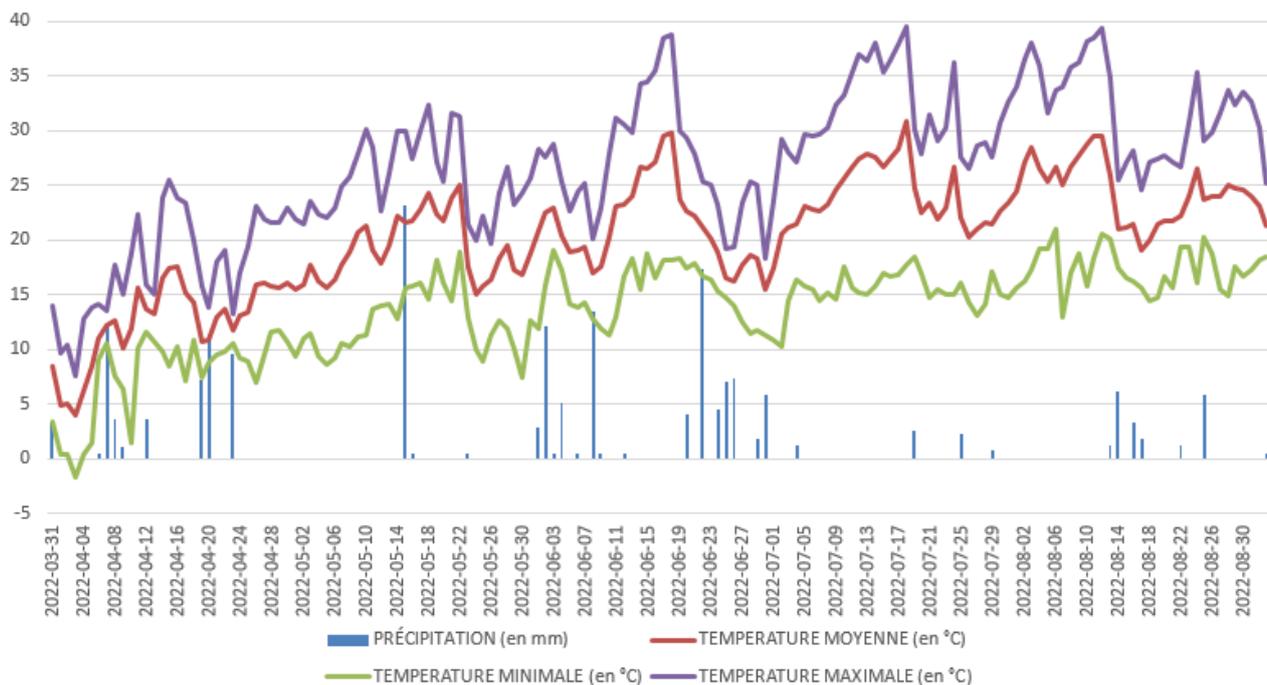


Figure 4 : Précipitation et températures relevées au Château Angélys au cours du millésime 2022.

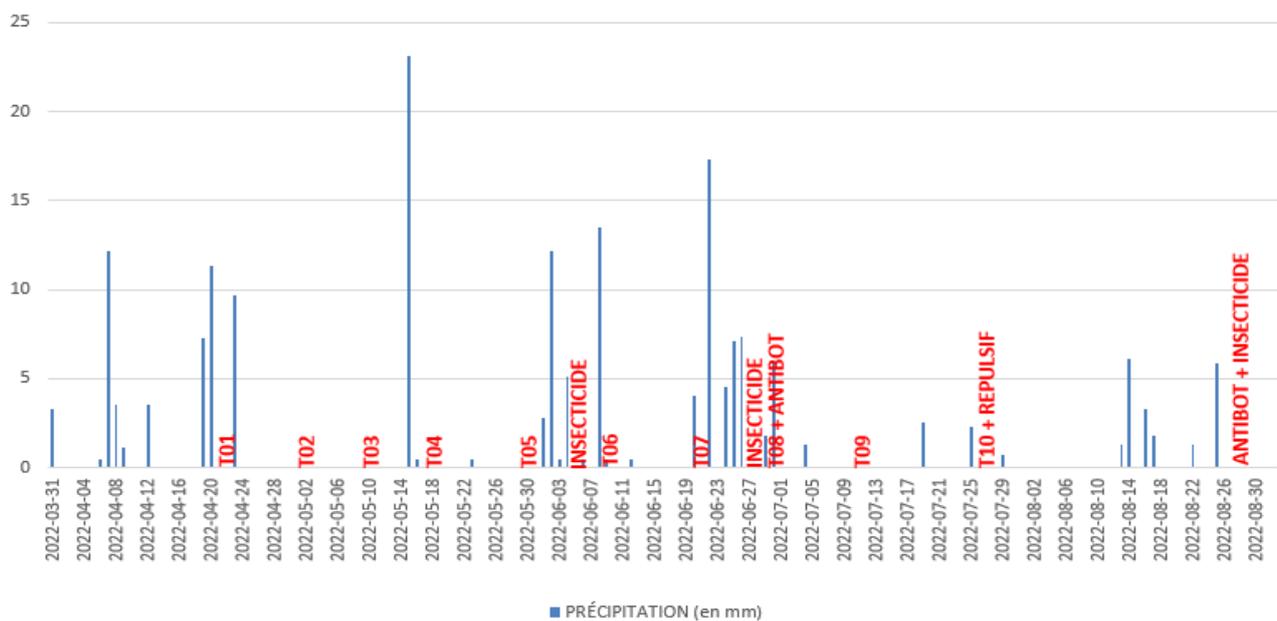


Figure 5 : Dates de traitement en fonction des précipitations sur la période du 31/03 au 31/08.

e. Vendages en vert ou éclaircissage.

Au cours de la véraison, l'éclaircissage est réalisé. Cela consiste à supprimer des grappes du pied. Les grappes contaminées, celles présentant un retard de maturité par rapport à la parcelle (visible qu'à la véraison) et les troisièmes grappes du rameau sont coupées. De plus, lorsqu'il y a un entassement de grappe, les ouvriers font tomber celle du milieu. Ainsi, les grappes restantes ont la place pour se développer et leur maturité est homogène. Enfin, la concentration dans les baies est favorisée du fait du rapport feuille/fruit modifié.

f. Irrigation des plantations.

Pour une bonne implantation des nouvelles parcelles, l'irrigation de celles-ci est indispensable. De plus, lors de sécheresses comme celles subit durant le millésime 2022, les jeunes plants n'ont pas de système racinaire suffisamment développé pour puiser l'eau en profondeur. Ainsi, de l'eau et parfois de l'engrais sont apportés. L'irrigation est réalisée par Banton & Lauret majoritairement, à l'aide d'enjambeur avec contenant et deux opérateurs piétons qui déversent l'eau au niveau des pieds.

5. Lutte phytosanitaire dans le contexte du millésime 2022.

Tout d'abord, Angélus été engagé dans une démarche de conversion en agriculture biologique depuis 2018. Les conditions météorologiques de 2021 favorables au développement du mildiou ont rendu difficile la lutte contre celui-ci. La perte de plus de 30% de la récolte pour le millésime 2021 a poussé le château à revenir sur la conversion au début de la campagne 2022 afin de minimiser la perte dû à une protection phytosanitaire inefficace. Cependant, l'utilisation des produits est raisonnée.

a. Conditions météorologiques du millésime 2022.

L'équipe viticole suit de très près les conditions climatiques. Des stations météorologiques sont disposées sur le parcellaire morcelé du château. Par souci de compréhension, seules les données à Saint-Émilion depuis le début du débourrement sont analysées (Figure 4). Il existe néanmoins des hétérogénéités de précipitations selon les secteurs de la propriété.

Le millésime 2022 a débuté par des gelées de printemps fin mars et début avril qui ont mobilisé les équipes du château pendant plusieurs nuits pour protéger les bourgeons. Ensuite, la floraison s'est déroulée dans un environnement sec et un peu venteux ce qui a engendré très peu de coulure. En juin, des épisodes de grêles ont menacés le vignoble. Des moyens de luttés que nous détaillerons ont été mis en place. De brèves précipitations ont été observées et leurs faibles fréquences ont permis d'agir efficacement en prévention des contaminations fongiques. Le millésime 2022 se caractérise par une très faible pression parasitaire mais aussi par une forte contrainte hydrique. De juillet à mi-août, moins de 10 mm de pluie sont tombés, associés à de fortes chaleurs avec 17 jours dépassant les 35°C. Depuis le 1 avril, 1627°C sont au-dessus de 10°C ce qui donne un indice de Winkler supérieur aux normales de la région [27].

b. Maladies fongiques.

Les traitements sont déclenchés en fonction des conditions climatiques, du stade phénologique de la plante et des symptômes observés par l'équipe viticole du château. Les traitements ont été recensés par rapport aux précipitations, principales causes de contamination fongique (Figure 5).

Tout d'abord, des risques pour la santé sont présents lors de la lutte contre les pathogènes. Les tractoristes portent alors des équipements de protection individuelle adaptés lors de la préparation des traitements. De plus, les rampes bénéficient de buses anti-dérives réduisant les risques pour le personnel et les riverains. Ils sont fréquemment contrôlés afin d'assurer leur bon fonctionnement. De plus, l'utilisation des produits phytosanitaires est soumise à de nombreuses réglementations. Par exemple, il a fallu connaître le nombre d'application maximale par an pour chaque produit.

Pour la lutte contre les champignons parasites, des produits de contact ont été associés à des systémiques pour une plus grande efficacité tout en restant dans une démarche environnementale.

Sur les premiers traitements, du cuivre sous forme de bouillie bordelaise et du fosétyl contenue dans le produit ALLUM® ont été utilisés en prévention des contaminations de mildiou du débourrement à la floraison. À la floraison, la période la plus critique concernant les contaminations au mildiou, un traitement systémique a été appliqué. Ensuite, de l'hydroxyde de cuivre, le CHAMP FLO AMPLI® est appliqué afin d'agir lors des précipitations entre 1 et 5 mm. Il est associé au NORDOX 75 WG® pour les précipitations au-dessus de 15 mm.

Pour prévenir des contaminations d'oïdium, du soufre est utilisé, sous le nom d'HELIOUSOUFRE S® sous forme liquide ou MICROTHIOL SPECIAL DISPERS® sous forme solide. En curatif, l'équipe viticole utilise du VIVANDO®, composé de métrafénone qui est fongicide puissant contre ce pathogène.

Du Black rot a été observé de mi-mai à mi-juin sur feuilles puis sur baies. Afin d'endiguer les contaminations, soit du ROCCA®, composé de cyflufenamide, soit du NATCHEZ® composé de trifloxystrobine, soit du LIDAL® composé de tétraconazole ont été utilisés. Le ROCCA® a été appliqué deux fois, le nombre maximum d'application. Ces produits sont aussi efficaces pour la lutte contre l'oïdium.

Pour lutter contre la pourriture grise causée par *Botrytis cinerea*, un produit de biocontrôle est appliqué, ARMICAB®. Composé d'hydrogencarbonate de potassium, il attaque directement le champignon. Cette année, il a été appliqué à deux reprises suite à l'observation de quelques baies pourries et en prévention d'autres contaminations. Ces traitements sont associés à l'application du BOTECTOR®, un autre produit de biocontrôle composé d'une souche de *Aureobasidium pullulans*. La prolifération de ce champignon épiphyte semblerait empêcher le développement du *Botrytis cinerea*.

c. Tordeuses et cicadelles.

Les tordeuses de la grappe Eudémis et Cochylis sont combattues par confusion sexuelle avec des produits de biocontrôle de la gamme Rak®. Ce produit est un diffuseur de phéromones naturellement émises par les femelles de façon à désorienter les mâles et ainsi empêcher la reproduction. En effet, ces petits Lépidoptères pondent dans les baies en perforant la pellicule. Cela crée alors une porte d'entrée au développement de pourriture grise. Alors sur la propriété, 600 diffuseurs sont installés par hectare à chaque saison. Cette année, la pose de Rak® s'est déroulée début avril pendant trois jours. Ce système fonctionne particulièrement bien au sein du château. Pour un hectare, il faut compter 170€. Cependant, lorsque des verres de grappes sont aperçus, ces parcelles peuvent être traitées avec l'insecticide AFFIRM®.

Lorsque la présence de la cicadelle verte est constatée par les équipes de la propriété, le produit SOKALCIARBO WP® à base de kaolin a été appliqué lors des traitements 7, 8, 9 et 10 à des doses entre 3 et 6 kg/ha (Figure 5). Ce produit répulsif a pour effet de tapisser le feuillage en blanc afin de rendre moins attrayant l'appareil photosynthétique à ces insectes piqueur-suceur. Cette année, très peu de feuillage sont attaqué par ces insectes. En effet, lorsque *Empoasca vitis* pique le feuillage pour se nourrir de la sève, une nécrose se forme et bloque l'irrigation du feuillage par la sève. Ainsi, la photosynthèse ne se fait plus et la couleur des feuilles tourne du vert au rouge. Pour la lutte contre le flavescence dorée, un insecticide obligatoire à base de tau-fluvalinate, le MAVRIK FLO® a été appliqué.

6. Moyen mis en place pour la lutte contre les aléas climatiques.

Le vignoble du Château est couramment soumis à des gelés printanières. En effet, la géographie et la pédologie du vignoble ont pour conséquence des sols froids et gélifs. Ces épisodes sont inquiétants dû fait du débourrement de plus en plus précoce. En effet, avec le changement climatique, la levée de dormance de la vigne, dépendant du nombre de degrés-jours au-dessus de 10°C, est régulièrement atteinte avant les dernières gelées. Au printemps 2022, les équipes du Château ont dû vigiler du 31 Mars au 7 Avril. Afin de lutter contre cet aléa climatique, les équipes mobilisées répartissent et allument 250 bougies/ha au cœur de la nuit. Des éoliennes tractées répartissent la chaleur sur l'ensemble des parcelles. Grâce à ces efforts, les bourgeons ont été sauvés.

Des orages de grêles peuvent également menacer le vignoble. Le nuage le plus marquant fût celui du 20 juin 2022 faisant d'énormes dégâts agricoles et chez les particuliers du Sud Médoc jusqu'en Charente. Sur l'AOC Saint-Émilion, des châteaux se sont regroupés pour former un réseau de ballon anti-grêle. Lors d'épisode orageux, l'OAD Skydetect™ prévient les châteaux des risques. Ces ballons gonflés à l'hélium sont envoyés dans le nuage. Ensuite, les torches chargées de sels hygroscopiques embarquées sur le ballon sont activées par un altimètre. Les sels vont alors absorber l'humidité des nuages et faire précipiter la pluie avant que celle-ci ne forme des grêlons. Cette technologie couteuse, 300€ par ballon, permet de sauver les vignes des conséquences catastrophiques que provoque la grêle.

7. Analyse critique du millésime.

Cette année, les conditions météorologiques ont eu pour conséquence une pression parasitaire faible. La campagne aurait très bien put se mener en bio mais l'aspect économique et le traumatisme de l'an passée a poussé les équipes à assurer cette campagne. Le temps gagné sur les traitements a été mis au profit de la bonne tenue des vignes et pour les travaux manuels favorisant la qualité des raisins. Ainsi, en plus des conditions du millésime favorable à l'élaboration d'un vin de grande qualité, tout a été mis en œuvre par les équipes du Château Angélus afin d'exprimer au mieux le terroir singulier au travers de cette vendange 2022.

8. Coûts et temps des travaux.

Les vitesses des différents travaux mécaniques effectués au Château Angélus tout au long de l'année sont informées dans l'Annexe 6. En effet, selon l'outil utilisé, la vitesse de traction et de travail doit être ajustée pour que les travaux soient efficaces. De plus, les coûts et temps de travaux manuels, supérieur à la moyenne du fait de l'attention apportée à ces travaux minutieux, sont mentionnés dans l'Annexe 7.

PARTIE III : VINIFICATION ET ÉLEVAGE

I. Segmentation de l'appareil de production vinicole.

L'unité de production vinicole est segmentée en deux parties. Le cuvier historique se situe au Château Angélu où est vinifié le premier vin d'Angélu. Cette année, le cuvier de vinification est en travaux de rénovations, un cuvier temporaire a été mis en place en déplaçant en partie les cuves de l'ancien cuvier. Il est composé majoritairement de cuve inox thermo régulée de 85hL et des cuves en bois de chêne de 77hL. Pour l'élevage du vin en barrique, le Château est composé de deux chais à barrique où sont stockés les vins d'un an et un autre pour les vins de deux ans. Au Chai Carillon, construit récemment, les cuves sont toutes en inox avec 21 cuves tronconiques suspendus dans lesquelles le second vin d'Angélu est vinifié. Tout comme à Angélu, les cuves sont thermo régulées et les cuves accueillant les raisins issus de l'appellation Castillon ont des systèmes de remontage automatique. A cela s'ajoute un chai à barrique pour les vins rouges. Les vins blancs sont directement entonnés après pressurage dans un chai à barrique différent de celui des rouges.

II. Itinéraire technique vinicole.

1. Contrôle maturité.

Pour piloter les vendanges de façon à récolter les raisins à leur plus haut potentiel qualitatif, des contrôles de maturité sont réalisés sur l'ensemble des parcelles du Château Angélu. Cela consiste à prélever environ 200 baies aléatoirement sur l'ensemble de la parcelle afin que l'échantillon soit représentatif. Les échantillons sont ensuite analysés par le laboratoire Oeno-Lab à Montagne. Afin d'avoir un aperçu de la maturité des raisins, les sucres réducteurs, le TAVp, l'acidité totale, l'acide malique, la RPT, la maturité des pépins et le PAE sont étudiés. Ces analyses sont combinées à la dégustation des baies par l'équipe technique. Ils apprécient lors des dégustations successives la baisse de la perception de notes végétales, l'absence d'amertume et l'apparition des notes fruitées. L'état sanitaire des parcelles est aussi un facteur primordial dans la prise de décision de vendanger.

2. Vendanges et réception.

Pour les vendanges manuelles, entre 50 et 80 intérimaires de prestataire de service viennent compléter les équipes pour la coupe des raisins. Ils sont répartis en équipe de cinq avec un porteur et coupeurs répartis sur deux rangs. Les grappes sont transportées dans des cagettes de 50L afin d'éviter le tassement et sont apportées par remorque plateau jusqu'au château ou au chai Carillon.

Les cagettes sont ensuite déversées dans une sauterelle qui apporte les grappes jusqu'à l'égrappoir Delta Oscillys XM®. Les baies passent ensuite sur une table vibrante Delta TRV® et tombent dans le Delta Densilys® de chez Bucher-Vaslin. Ce bain densimétrique a pour conséquence la sélection des baies présentant une densité égale ou supérieure à la densité souhaitée. Les baies sont ensuite essorées sur table ajourée puis apportées en haut des cuves où elles sont foulées. Au chai Carillon, le bain densimétrique est remplacé par un trieur optique Delta R2 Vitalys® et les baies foulées sont encuvées par cuvons et chariot élévateur.

Les raisins intégrés dans la vinification du Tempo en Bordeaux sont majoritairement vendangés à la machine par le prestataire de service AVS. Les baies sont ensuite triées par le Delta Rflow® qui est un trieur à lame

d'air à haut débit. Il permet l'élimination des feuilles et des baies sèches. La vendange est ensuite encuvée à l'aide d'une pompe à marc.

3. Etapes pré-fermentaire.

Lors de l'encuvage, les jus sont inertés par ajout de dioxyde de carbone solide. De plus, la quantité importante ajoutée refroidit le mout de façon à débiter la pré fermentation à froid. Une fois encuvés, un remontage d'homogénéisation est réalisé et un échantillon de la cuve est envoyé au laboratoire. L'analyse d'encuvage nous donnant le TAVp, le pH, l'AT et les concentrations en sucres réducteurs, azote assimilable et l'acide malique nous donne un aperçu des caractéristiques du moût et des rectifications à y apporter. Enfin, un pré encensement de Actiflore F33® de LAFFORT, une *S. cerevisiae cerevisiae* est réalisé à 10g/hL afin de prévenir d'éventuel départ en fermentation spontanée non désirée sans ajout de SO₂. De plus, du Flor'protect® de Lamothe-abiet est ajouté à 20g/hL. Ces écorces de levures ont pour conséquences l'élimination d'inhibiteurs de la levure tel que les acides gras [28].

Pour la macération pré-fermentaire à froide, étant donné que la cuverie est temporaire, le système de thermorégulation n'est pas en capacité de refroidir suffisamment les moûts. Ainsi, des remontages à travers un échangeur tubulaire avec groupe de froid intégré, sont réalisés lorsque la vendange n'est pas à la température souhaitée, soit inférieur à 6°C. La durée de cette macération est dirigée par la dégustation, la densité ainsi que les besoins logistiques du cuvier.

4. Fermentation alcoolique.

Pour le lancement des fermentations, les cuves sont chauffées à 22°C et une deuxième foisensemencées à 10g/hL avec les mêmes levures. Ces levures sont sélectionnées pour leur faible production d'acide volatile, leur résistance aux hauts degrés d'alcool et leur production de polysaccharides. Avant la fermentation alcoolique, par l'observation des analyses d'encuvages, du Thiazote® est ajouté dans les moûts carencés en azote assimilable, soit inférieur à 140 mg/L [29]. Ce mélange de phosphate diammonique et de vitamine B est ajouté une seconde fois à 1040 de densité pour réajuster afin d'atteindre 200mg/L d'azote assimilable au total. Cette gestion de l'azote prévient des arrêts de fermentation ou des fermentations languissantes. De plus, afin de favoriser la multiplication cellulaire, de l'oxygène est apporté en cours de FA par remontage à l'air mais s'accompagne d'une production de stérols et d'acides gras à longues chaînes [30].

La maîtrise des températures est essentielle au bon déroulement de la fermentation. En cours de FA, les cuves sont maintenues à 22°C. En fin de FA, la température monte à 26°C afin de favoriser la cinétique de fermentation dans ces conditions extrême pour les *S. cerevisiae*.

En cours de FA, l'extraction des anthocyanes, des tanins et des composés aromatiques se fait par délestage et remontage. Ces opérations sont décidées quotidiennement par l'équipe technique au cours de la dégustation et la prise de densité. En fin de FA, seulement des remontages pour mouiller le marc sont réalisés et des échantillons sont envoyés au laboratoire pour les analyses de décuvage. Ces analyses nous informent si la cuve est sèche, soit une concentration en glucose et fructose inférieure à 0,2 g/L. Ces analyses nous renseignent aussi sur la concentration en acide acétique témoin d'une déviation microbiologique à l'origine d'une pique acétique.

5. Opération post-fermentaires.

Après fermentation, les cuves sont maintenues à 26°C en fonction de la dégustation et des analyses. Cette macération post-fermentaire à chaud a pour conséquence l'extraction des composés polyphénoliques. A la dégustation est perçu une diminution de l'astringence et une augmentation du volume en bouche traduisant la polymérisation des tanins. Une fois que la macération est jugée suffisante, la cuve est écoulée et le marc est décuvé. Le vin d'écoulage est protégé par ajout d'azote. Le marc est pressé dans un Inertys 30® de Bucher Vaslin, un presseur horizontal pneumatique. Les presses sont séparées selon leur qualité et seulement les plus qualitatives entrent dans l'assemblage. Les presses sont collées à la PVPP à 20g/hL avant filtration tangentielle pour éliminer les grosses particules.

6. Entonnage et Fermentation malolactique.

Après écoulage, les lots sont entonnés en barrique neuve de 225L dans le chai de première année. Les tonneliers sont divers et la chauffe des barriques varie. La température du chai est maintenue à 21°C et l'humidité à 90%. Les FML démarrent alors spontanément en barrique. Des analyses régulières sont effectuées pour le suivi de la FML. Quelque fois, les analyses d'écoulage nous informent que la FML a déjà démarré sous marc. Ces lots sont alors utilisés pour ouiller les barriques afin de lancer la FML dans les autres lots où elle n'a pas démarrée. La FML est considérée terminée lorsque la concentration en acide malique est inférieure à 0,2 g/L. Ainsi, le vin contient moins de substrat utile au développement microbologique et il a une couleur plus stable car la combinaison entre tanins et anthocyanes est avantageuse.

7. Elevage.

La température du chai est abaissée à 12°C une fois la FML terminée. Le SO₂ actif est ajusté à 0,6mg/L pour une protection maximale. Les vins sont élevés en barriques durant 22 mois à Angélus et 18 mois à Carillon. Cet élevage en bois de chêne apporte des polysaccharides et ellagitanins qui améliorent la qualité sensorielle des vins [31]. Des ouillages sont réalisés régulièrement afin de réajuster le niveau de vin dans la barrique et ainsi limiter son oxydation. En effet, bien que l'atmosphère soit humide, le vin s'évapore au cours de l'élevage à travers le bois. Aussi, les vins sont soutirés pour les séparer des lies sédimentées au fond de la barrique. Certains lots peuvent être clarifiés par collage. Les barriques sont lavées et désinfectées à la vapeur et méchées avant entonnage. Enfin, des analyses sont réalisées fréquemment afin de contrôler l'acidité volatile, les doses de sulfites et la présence de *Brettanomyces bruxellensis*. Les doses de sulfites sont par la suite ajustées en fonction de chaque lot et des mesures d'AV.

8. Assemblage et mise en bouteille.

Les lots de vins sont dégustés un à un et sont ensuite assemblés. Précédemment la sortie du classement de Saint-Emilion, les lots étaient assemblés en fonction du parcellaire classé et les lots moins qualitatifs rentraient dans l'assemblage du second vin. La sortie du classement et le rachat du parcellaire du Château Bellevue a permis de faire rentrer dans l'assemblage du grand vin final, des parcelles très qualitatives. Les vins assemblés sont analysés pour ajuster la dose de sulfite. De plus, ils sont filtrés en tangentielle avant mise en bouteille afin d'obtenir un vin final entre 1 et 2 NTU et avec une quantité de microorganisme d'altération la plus faible possible. Il y a une seconde filtration avant mise en bouteille qui est faite par Thierry Bergeron Embouteillage ou Michael Paetzold.

III. Analyse critique du millésime.

Le millésime exceptionnel constaté au vignoble s'est traduit au moment de la vendange par des baies riches aromatiquement et une composition phénolique très bonne. La sécheresse observée n'a que peu affecté le métabolisme de la vigne. En effet, une seule parcelle de jeune Cabernet franc a été vendangée en sous maturité car elle s'est arrêtée. En revanche, sur l'ensemble du parcellaire, il a été observé que la maturité technologique est arrivée en même temps que la maturité phénolique ce qui a permis de vendanger des baies ayant une aromatique portée sur le fruit frais et avec des TAVp inférieur à 15% ce qui différencie ce millésime de celui de 2020. Concernant l'acidité des baies, sur certaine parcelle la quantité d'acide malique était faible.

N'ayant peu subi le stress hydrique, la quantité de raisin récoltée est celle imposée par les vendanges en vert, aux alentours de 42 hL/ha. Les baies ne présentant aucun symptôme de maladie ni de flétrissement, la sélection minutieuse a abouti à une qualité sans pareil.

La qualité étant au rendez-vous, les opérations et additifs ont été minimisés. Aucun arrêt de fermentation ni déviation microbienne n'a été observée. De plus, le départ des FML a été rapide et certaine cuve ont démarré leur FML sous marc ce qui a prévenu d'éventuelles déviations.

La « facilité » du millésime 2022 s'est aussi ressentie lors des vinifications et contraste avec le précédent millésime quelque peu difficile et démoralisant. La succession de ces deux millésimes est une richesse d'apprentissage. La sérénité du millésime est compensée par l'atypicité de travailler dans un cuvier temporaire. Bien que temporaire, l'outil de travail reste de grande qualité et les équipes ont su faire face aux différents problèmes survenus.

PARTIE IV : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. La diversité intra-variétale.

Lors de la plantation, il est essentiel de bien choisir le matériel végétal en adéquation avec les objectifs de production car la vigne est une plante pérenne. Il existe une diversité génétique intra-variétale, appelée aussi diversité clonale ce qui a permis la sélection de différents clones d'un même cépage [32]. La diversité intra-variétale est issue non pas de la reproduction sexuée mais d'une multitude de facteurs complexes comme des mutations et des adaptations tout au long du cycle de la vigne transmises par reproduction asexuée [33]. L'origine de cette diversité est encore peu renseignée.

II. La sélection clonale en France.

1. Histoire.

La viticulture traverse une crise sanitaire au XIXe siècle avec l'émergence de nouvelles maladies cryptogamiques provenant d'Amérique. S'ajoute à ces maladies fongiques, l'arrivée du phylloxéra en 1863 qui décime la moitié du vignoble français [34]. Pour pallier cela, les *Vitis* américains : *V. riparia*, *V. rupestris* et *V. berlandieri*, tolérants à ce ravageur, sont utilisés comme porte-greffe comme l'a proposé Gaston Bazille en 1871 et garantissent une récolte de qualité issus du greffons *V. Vinifera* [35]. Quant à l'hybridation directe avec *Vitis vinifera*, elle a été abandonnée car les hybrides producteurs directs n'ont pas séduit les consommateurs [36]. On voit alors apparaître les pépinières viticoles où la professionnalisation du greffage a pour conséquence la multiplication des plants les plus intéressants [37] et limite ainsi la diversité génétique. De plus, le matériel végétal multiplié était en partie infecté ce qui a mené à l'émergence des virus dans le vignoble comme les virus du court-noué et de l'enroulement responsables de dommages économiques pour les viticulteurs [38] [39]. C'est à la suite de ces problèmes sanitaires liés aux virus que dans les années 1960 FranceAgriMer, anciennement IVCC, débute une sélection de clones ne montrant pas de symptôme de viroses. Aujourd'hui, l'Institut National de Recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'Environnement (INRAE) en partenariat avec l'Etablissement National Technique d'Amélioration de la Viticulture (ENTAV) poursuit les travaux de sélection clonale [40] [41]. Elle se réalise aujourd'hui suivant la définition du Ministère de l'Agriculture et l'Office International de la Vigne et du Vin (OIV) : la sélection clonale est une descendance végétative d'une variété, conforme à une souche de vigne choisie pour ces caractères phénotypiques et son état sanitaire. En plus de faire attention à l'aspect qualitatif, la sureté de la répllication de matériel sain est renforcée par des tests ELISA ou RT-PCR pour la détection de virus [42], [43]. Ensuite, tous les clones doivent être agréés par l'IFV.

2. Les clones disponibles Cabernet-franc.

Le Cabernet franc est le cépage restant le plus ancien du Bordelais [19]. Supposé originaire du Pays Basque Espagnol dû à sa proximité génétique avec le Morenoa et le Hondarribi Beltza [44], des clones primitifs de Cabernet franc ont été apportés en France par les pèlerins de Saint-Jacques de Compostelle [45], [46]. Sa conquête ne s'arrête pas à Bordeaux puisque on y fait mention à travers le nom Breton dans les œuvres de Rabelais au XVIème siècle. Bien qu'il soit aujourd'hui emblématique des grands vins de Saint-

Clones	Niveau de production	Fertilité	Poids des grappes	Taille de baies	Aptitudes œnologiques
214	1	1 à 2	1 à 2	1	Vins aromatiques, fins et structurés
326	1	1	2	2	Vins riches et structurés
327	3	1	2	1	Vins riches et structurés
312	2 à 3	2 à 3	2	3	Vins typiques du cépage
331	3	2 à 3	2 à 3	2 à 3	Vins typiques du cépage

Source : Catalogue des variétés et clones de vignes cultivés en France – 2^{ème} édition

Légende :

- 1 : inférieur
- 2 : moyenne
- 3 : supérieure

Tableau 3 : Clones de Cabernet franc les plus utilisés dans le bordelais et leurs caractéristiques.

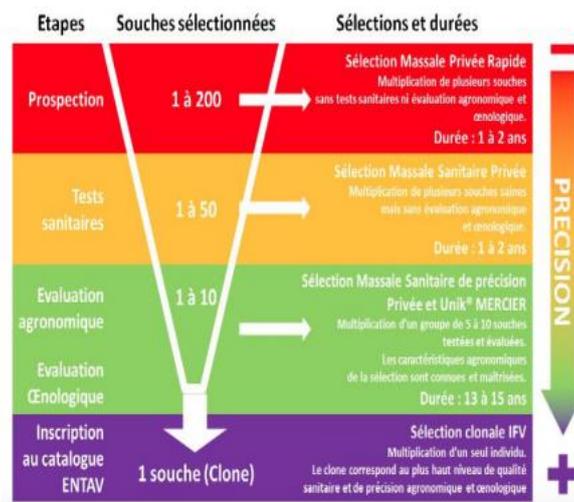


Figure 6 : Différents niveaux de précision de sélection massale [54].

Emilion [23], sa plantation baisse depuis plus de 15 ans au profit du Merlot noir et du Cabernet-Sauvignon, deux variétés fils [47] [44]. Il existe 26 clones agréés de Cabernet franc mais seulement 5 clones, sélectionnés entre 1973 et 1975 sont réellement utilisés dans le vignoble bordelais (Tableau 3) [48] [23].

3. Les limites de la sélection clonale.

La sélection des clones principalement sur l'aspect sanitaire au milieu du XXème siècle a engendré une perte de diversité génétique cultivée [49] [40]. Le vignoble français est par ailleurs planté à 95% avec des clones agréés par l'IFV selon l'Office National Interprofessionnel des Vins. Cependant, il a été mis en place des conservatoires via le Réseau Français des Conservatoires de Vigne regroupant 20 000 individus différents issus de 136 variétés inscrites au Catalogue national. Ces individus servent de collection et ne sont pas disponible en pépinière [50]. De plus, bien qu'il existe 180 conservatoire en France, les individus ne sont pas répartis partout ce qui expose ce patrimoine génétique à des risques épidémiques et climatiques [49]. De plus, les clones ont été sélectionnés en période d'après-guerre, où il fallait faire du rendement et des hautes teneurs en sucre. Ces critères de sélection ne sont plus d'actualité et les clones disponibles ne répondent plus à la demande des viticulteurs qui cherchent à conserver l'acidité et réduire l'alcool qui ne cesse d'augmenter [14].

III. La sélection massale.

La sélection massale et clonale sont très similaires du fait que l'une est assujettie à l'autre [51]. La sélection massale de la vigne consiste à sélectionner des individus dans la masse par observation de leurs capacités agronomiques et œnologiques dans le but de conserver ces caractères par multiplication. La sélection massale existe dans le vignoble depuis la domestication de la vigne jusqu'à la standardisation de la sélection clonale [52]. Elle est pratiquée aujourd'hui marginalement [53] par des exploitations souhaitant conserver le patrimoine génétique des vignes plantées avant les années 1970 et les individus adaptés à leur terroir. La sélection massale peut se faire à différents niveau de précision (Figure 6) [54].

1. La sélection massale privée rapide.

Elle consiste à sélectionner et replanter les pieds intéressants sans analyses sanitaires à la suite d'observations empiriques. On observe alors un risque sanitaire important et une imprécision agronomique. Cette technique est utilisée par des petites exploitations souhaitant replanter leur propre pied de vigne et sans passer par un pépiniériste pour des raisons économiques. De plus, cette méthode ne nécessite qu'une année de prospection.

2. La sélection massale sanitaire privée.

Elle consiste en la même chose que la sélection massale privée rapide mais les individus sélectionnés subissent des tests virologiques afin d'éliminer les individus virosés et ainsi éviter le dépérissement du vignoble précocement [55]. Cette méthode coûte un peu plus chère mais reste limitée d'un point de vue agronomique car elle ne prend pas non plus le facteur millésime et donc les résultats sont biaisés par les interactions avec l'environnement [56].

3. La sélection massale sanitaire privée de précision.

Cette méthode consiste à suivre des pieds sains sur des critères agronomiques et œnologiques pendant au moins 5 ans pour s'affranchir de l'effet millésime. Les individus d'intérêts selon le sélectionneur, sont ensuite multipliés et replantés. Cette sélection est plus couteuse et plus longue puisqu'elle se rapproche d'une démarche d'obtention de clone par l'IFV [49]. Cette méthode est aussi appelée sélection clonale privée. De plus, bien que la sélection massale ne constitue pas une solution contre le dépérissement du vignoble car il n'a jamais été montré la responsabilité de la sélection clonale dans l'émergence des virus de la vigne, la diversité intra-variétale dans une exploitation pourrait favoriser l'adaptation aux maladies et au changement climatique.

IV. La réglementation en matière de plantation de vigne.

Lors d'une plantation, le matériel végétal est uniquement vendu par les pépiniéristes. Les plants sont des clones sélectionnés par l'ENTAV. Lorsqu'un viticulteur souhaite planter ses plants issus de la sélection massale, une déclaration de pépinière privée auprès de FranceAgriMer doit être réalisée ce qui implique de payer une redevance [51]. De plus, la gestion des greffons n'est pas soumise à des tests sanitaires mais uniquement un traitement à l'eau chaude lorsque la parcelle de la sélection est en zone de traitement obligatoire contre la FD [57], [58].

V. Problématique.

Le vignoble bordelais est soumis à une forte pression pathogène. Bien que cette pression varie selon le millésime, l'humidité, la chaleur et la pluviométrie de la région procure des conditions favorables au développement de mildiou, d'oïdium et de pourriture grise [59]. Ces contaminations exigent des nombreux traitements. Dans le cadre du programme EcoPhyto, la réduction de l'utilisation d'intrants est inévitable [60]. De plus, avec les épisodes de sécheresse de plus en plus fréquente [61], on observe des blocages de maturation, l'augmentation de la teneur en sucre et la baisse de l'acidité [13], [62], [63] modifiant le profil des vins. En effet, la qualité du raisin étant en partie étroitement liées aux conditions climatiques, la baisse de fraîcheur et la diminution de la perception aromatique lors des millésimes chauds mènent à une baisse de la qualité des vins.

Un levier pour s'adapter à ces deux problématiques serait le matériel végétal disponible. En effet, la diversité intra-variétale pourrait répondre aux problématiques car chaque clone présente des phénotypes différents [64]. Cependant, les 26 clones de Cabernet franc agréés par l'IFV ne sont pas tous adaptés aux conditions pédoclimatiques de la région bordelaise actuelles et futures ce qui réduit les choix du matériel végétal [65]. D'autres variétés, dans le cadre du projet VitAdapt à l'Institut des Sciences de la Vigne et du Vin, où 52 cépages sont comparés sur une longue durée, pourrait être un exutoire aux problématiques précédemment explicitées [66], [67]. Cependant, leur aptitude à produire des vins d'une typicité proche des vins de la région bordelaise est en cours d'évaluation. De plus, l'utilisation de clone pour remplacer les vieilles vignes plantées avant la sélection clonale concoure à la perte de la diversité génétique du vignoble. Ainsi, la diversité des Cabernet franc plantés avant la sélection clonale au Château Angélus pourrait montrer une diversité dans la sensibilité aux maladies de la vigne et dans l'adaptation au changement climatique. Il a alors été commencé en 2022, une sélection massale ou sélection clonale privée dans les vieilles vignes de

Cabernet franc plantées en 1959. Cette sélection basée sur un suivi agronomique et œnologique a pour objectif d'identifier les individus répondants aux critères de production du Château Angélu. Les observations de cette année constituent la première phase de la sélection et se poursuivront sur plusieurs années avec des analyses de plus en plus approfondis. De plus, il a été intéressant d'observer si les 39 pieds présélectionnés pour leur aspect sanitaire étaient différenciable d'un point de vue ampélographique. Ces observations s'inscrivent dans ce mémoire répondant à la problématique :

Les vieux pieds de Cabernet franc du Château Angélu présentent-ils des différences agronomiques et œnologiques par rapports aux clones agréés ? Sont-ils différenciables sur le plan ampélographique ? Présentent-ils des caractères intéressants pour la production de vin de qualité sur le long terme ?

Les missions confiées pour répondre à ces problématiques sont la mise en place d'un suivi agronomique des individus et l'étude de leurs capacités organoleptiques afin de voir s'ils possèdent des caractéristiques avantageuses pour la réduction d'intrants et l'adaptation au changement climatique.

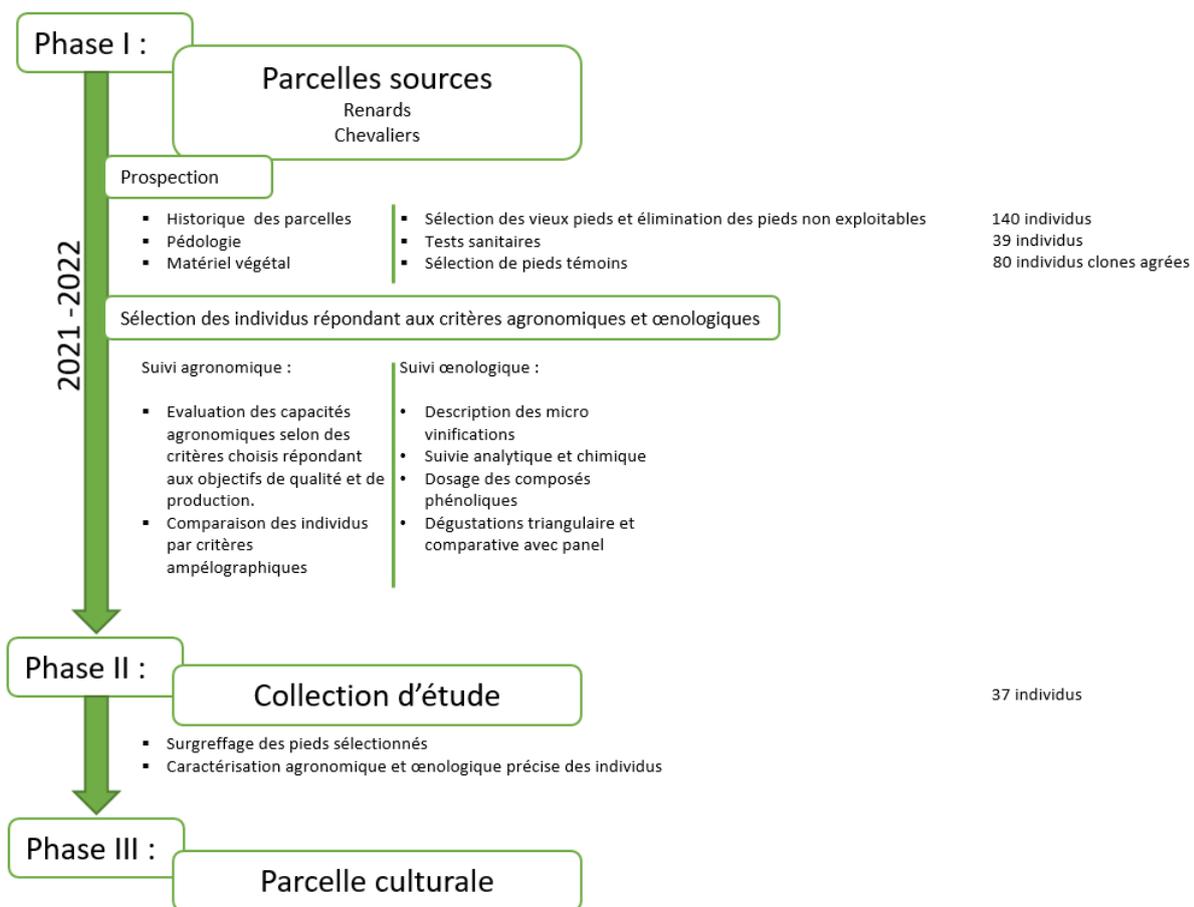


Figure 7 : Démarche générale de la sélection massale.

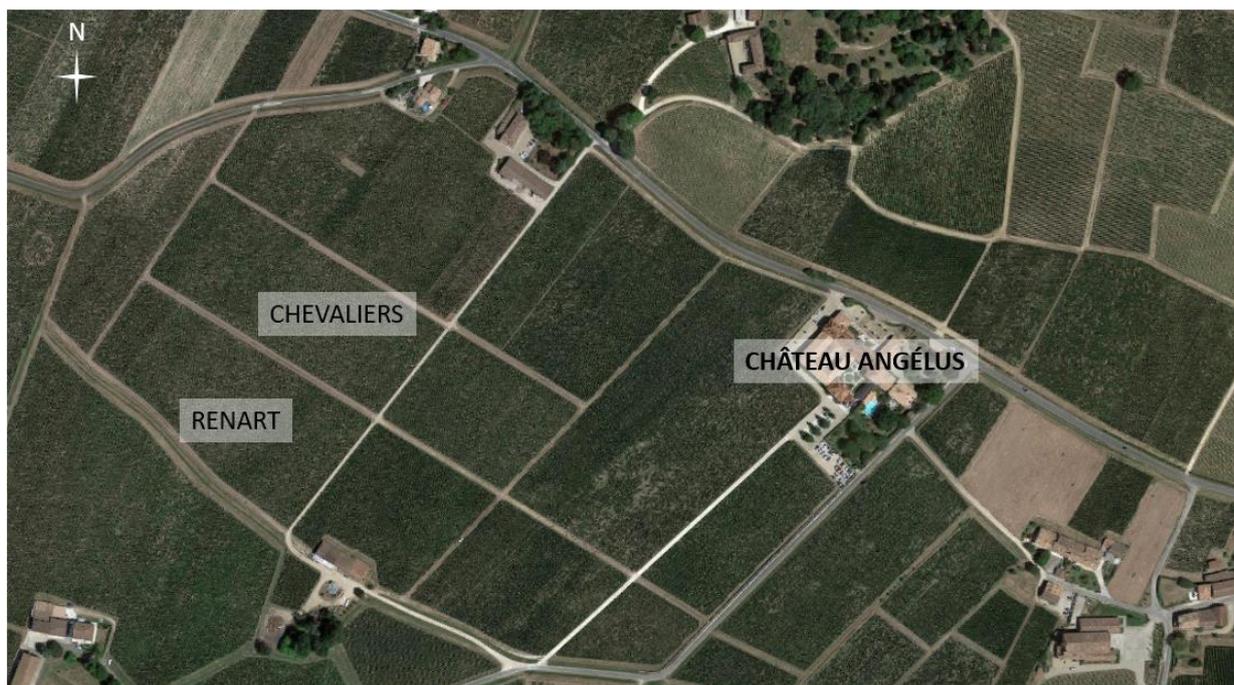


Figure 8 : Situation géographique des parcelles de sélection massale de Cabernet franc au Château Angéhus.

PARTIE V : MATÉRIEL ET MÉTHODE

I. Démarche générale.

La première étape de cette étude est de présenter les parcelles étudiées et le matériel végétal sélectionné. Les critères de sélection de ces pieds et des témoins seront détaillés ainsi que les tests sanitaires réalisés.

Une phase préliminaire d'observation ampélographique afin de discriminer les vieux pieds de Cabernet franc entre eux a été réalisée. L'observation des parties végétatives et fructifères a aussi pour objectif de différencier les vieux pieds et des clones agréés et de voir la variabilité intra variétale.

Il y a ensuite une phase de recueil des données nécessaires au suivi de ces pieds. Après la description des différents critères agronomiques analysés, les données seront traitées statistiquement. L'objectif de cette étape est de comparer leur potentiel agronomique et leurs réponses aux objectifs de production du Château Angélys en les comparant aux clones complantés sur les mêmes parcelles.

Ensuite, la dégustation des baies a permis de comparer les critères gustatifs des Cabernet franc. Un suivi des fermentations et des analyses œnologiques en comparaison aux clones connus permet d'analyser l'intérêt qualitatif du vin issu des pieds sélectionnés.

La Figure 7 présente la démarche générale de la première phase de la sélection massale. La méthodologie a pour but de proposer un suivi agronomique et œnologique de la sélection massale sur le long terme et d'objectiver la qualité de cette sélection sur le produit fini en la comparant aux clones complantés mis à disposition par le pépiniériste. Enfin, la sélection s'inscrivant dans un projet à long terme, l'objectif final de cette phase préliminaire est de proposer des améliorations et d'aborder le suivi de ces pieds pour les prochaines années tout en pointant les limites de cette étude.

II. Dispositif et matériel végétal.

1. Les parcelles de l'étude.

a. Historique et position géographique des parcelles.

Les parcelles comportant les pieds d'intérêts pour la sélection massale se situent dans le parcellaire du Château Angélys sur l'AOC Saint-Émilion. Les deux parcelles, nommées Le Renart et Les Chevaliers font parties du parcellaire d'Angélys classé en 2012 et rentre dans l'assemblage du premier vin du Château Angélys (Figure 8). Ces parcelles de Cabernet franc ont été plantées en 1959 par la génération précédant Hubert de Bouard de Laforest. Depuis, les pieds morts ou malades sont remplacés par complantation avec des clones de Cabernet franc.

Le choix de ces parcelles est motivé par la qualité organoleptique reconnue par les équipes du Château ainsi que par les critères agronomiques intéressants de ces vieux pieds. La vigne occupe une surface de 1,56 ha pour la parcelle Le Renart et 1,47 ha pour Les Chevaliers. La date de plantation de ces parcelles nous indique que la plantation a eu lieu avant la sélection clonale et qu'on peut alors conclure que ces individus ne sont pas censés être des clones.

b. Caractérisation de la pédologie des parcelles.

Les parcelles sont situées en bas de coteaux où les argiles gonflantes sont surmontées d'une couche sableuse très poreuse. On y retrouve une quantité élevée de matière organique en surface avec une décomposition moyenne à lente de la matière organique que témoigne le rapport C/N compris entre 11 et



Figure 9 : Repousse de porte greffe.

12. Ce sol drainant surmontant une couche d'argiles gonflantes correspond bien à un terroir auquel le Cabernet franc s'adapte [68]. Il confère aussi un pouvoir tampon pour les précipitations et la sécheresse [69]. En effet, du fait de la couche d'argile à 200 cm, les précipitations peu retenues par les sables sont absorbées par l'argile ce qui constitue une réserve en eau importante. Les racines atteignant facilement cette profondeur peuvent alors puiser l'eau nécessaire à la croissance de la vigne. Néanmoins, pour les jeunes pieds dont les racines ne sont pas assez développées, en période de stress hydrique, les sables de par leur capacité faible de rétention d'eau n'apportent pas les quantités d'eau nécessaires aux besoins des jeunes pieds et entraîne des blocages de maturation [70].

c. Matériels végétale

De par l'âge de la plantation de la parcelle, les Cabernet franc sélectionnés ne semblent pas être des clones. Ils ont été greffés sur SO4 afin d'atteindre des objectifs de production élevées [26], [71] (Figure 9). En effet, ce porte-greffe confère au greffon une grande vigueur. Les pieds témoins sélectionnés sont des clones de Cabernet franc, 214 ou 327, greffés sur Gravesac et complantés sur les mêmes parcelles. Il confère au greffon une vigueur moyenne à forte [26], [71]. L'identité des clones et les porte-greffes est renseignée par la traçabilité de l'exploitation et du pépiniériste et une observation ampélographique des repousses de porte-greffe a permis de vérifier ces informations à l'aide d'une clé de détermination [72], [73].

2. Itinéraire technique et conduite de la vigne.

a. Système de conduite du vignoble.

Les parcelles sont voisines et en bas de coteaux, leurs sols sont sensiblement identiques. Dans le cadre de cette sélection, nous pouvons considérer que l'effet du sol est négligeable. De plus, les orientations des rangs de vignes sont les mêmes, soit Nord-Est / Sud-Ouest ce qui a pour conséquence une même exposition de la canopée et de la partie fructifère aux rayons du soleil. La densité de plantation est la même avec un écartement inter rang de 150 cm et inter cep de 100 cm.

b. Itinéraire technique.

Les parcelles concernées par la sélection massale subissent les mêmes interventions détaillées en **PARTIE II : II. Itinéraire technique viticole**. La seule variabilité d'intervention humaine entre chaque pied concerne la taille. En effet, la taille au Château Angélu n'est pas raisonnée selon le potentiel de production en laissant le même nombre d'yeux par pieds mais elle est adaptée à chaque pied. Ainsi, cette taille respectueuse des flux de sève est adaptée à la vigueur du pied. De plus, la charge finale est modulée par l'ébourgeonnage au printemps.

III. Dispositif de sélection des pieds.

1. Définition des objectifs de sélection et critères retenus.

La sélection massale des Cabernet franc du Château Angélu répond à un objectif d'excellence. Le Cabernet franc est un cépage qui représente 40% de l'assemblage du premier vin du Château Angélu, lui conférant une typicité unique dans l'appellation Saint-Émilion. Dans un objectif perpétuel d'améliorer la qualité du vin, mais aussi de garder une diversité génétique intra variétale au sein du Château, des critères ont été définis. Comme décrit dans **I. Démarche générale**, la sélection massale au Château Angélu n'est

qu'en première phase, la phase de prospection. Ainsi, chaque génotype n'est présent qu'à travers un individu ce qui empêche d'évaluer la répétabilité des critères d'évaluation.

Les critères d'évaluation répondent donc à plusieurs objectifs :

- Une population différente des clones agréés mais relativement uniforme : Dans cette étude, il est question de conserver la diversité intra variétale et non de faire de la sélection clonale. La discrimination ampélographique par observation visuelle est alors préconisée pour y répondre.
- Des individus garantissant une production semblable aux clones agréés : Pour cela, la fertilité est mesurée ainsi que l'assujettissement à la coulure et au millerandage. De plus, la taille des grappes et la grosseur des baies sont évaluées.
- Des individus présentant peu de contamination : nous avons évalué les contaminations fongiques ainsi que la compacité des grappes qui est sensiblement liée à l'instauration de *B. cinerea* sur la grappe [74], [75].
- Cinétique de véraison.

2. La sélection des vieux pieds.

Avant toute observation ou analyse sur la parcelle, il a été effectué une pré-sélection des vieux pieds de Cabernet franc. Ces vieux pieds ont été sélectionnés selon le diamètre du tronc à l'aide d'un pied à coulisse témoignant de l'âge du pied. Les pieds moins larges ont été éliminés de la sélection afin de ne pas sélectionner des complants issus de sélection clonale. Une technique de datation par longueur des télomères existe [76] mais sa mise en place est difficile dans notre contexte donc nous avons fait l'hypothèse précédente. De plus, les pieds morts, ceux d'aspect général dégradé ou ceux présentant des symptômes de virose ont également été écartés de la sélection. Après cette phase préliminaire, seulement 140 individus ont été conservés.

3. Sélection des clones témoins.

Afin de comparer l'intérêt que présentent les vieux pieds sur un plan agronomique et organoleptique, des pieds complantés sur les mêmes parcelles ont été sélectionnés. Ainsi, 80 pieds d'aspect général sain, sans symptôme apparent, de moins de 30 ans et aux alentours des vieux pieds ont été sélectionnés.

4. Tests sanitaires.

Après la prospection, la réalisation de tests sanitaire sur les pieds sélectionnés est nécessaire afin de garantir une multiplication de plants sains en éliminant les individus virosés. Ainsi, des échantillons de bois ont été analysés par test ELISA par le laboratoire Auréa. Cela consiste à mettre en évidence par coloration la réaction de complexation du virus avec un anticorps spécifique au virus. Nous avons réalisé les analyses d'autocontrôle en pépinière viticole, c'est-à-dire la recherche des virus du court-noué ArMv + GLRaV, et des virus de l'enroulement GLRaV-1 et GLRaV-3 ainsi que la recherche du virus de l'enroulement de type 2 GLRaV-2 [38], [42]. A l'issue des tests ELISA, sur 140 pieds sélectionnés, seulement 39 sont ressortis négatifs des virus testés.

Descripteurs des parties végétales	Code OIV
Jeune rameau: densité des poils couchés de l'extrémité	004
Feuille adulte: gaufrure du limbe	072
Feuille adulte: taille des dents par rapport à la taille du limbe	077
Feuille adulte: longueur des dents par rapport à leur largeur	078
Feuille adulte : degré d'ouverture / chevauchement du sinus pétiolaire	079
Feuille adulte: dents dans les sinus latéraux supérieurs	083-2
Feuille adulte: densité des poils couchés entre les nervures principales sur la face inférieure du limbe	084
Feuille adulte: densité des poils dressés sur les nervures principales de la face inférieure du limbe	087

Chaque descripteur est noté de 0 à 3 selon les critères suivant :

	0	1	2	3
Code 004	Absence	Peu dense	Moyennement dense	Très dense
Code 072	Pas gaufré	Peu gaufré	Moyennement gaufré	Très gaufré
Code 077	Absence	Petite	Moyenne	Grande
Code 078	Absence	Plus large que longue	Aussi large que longue	Plus longue que large
Code 079		Ouvert	Fermé	Chevauchant
Code 083-2	Absence	Peu présent	Moyennement présent	Très présent
Code 084	Absence	Peu dense	Moyennement dense	Très dense
Code 087	Absence	Peu dense	Moyennement dense	Très dense

Figure 10 : Descripteurs ampélographiques des parties végétales et leur critère de notation.

Descripteurs de la morphologie de la grappe	Code OIV
Grappe: longueur (sans le pédoncule)	202
Grappe: largeur	203
Grappe: compacité	204
Grappe: nombre d'ailes de la grappe principale	209
Baie: taille	

Figure 11 : Descripteurs ampélographie de la morphologie de la grappe.

5. Cartographie des individus.

Pour les deux parcelles, chaque rang et chaque emplacement de cep ont été numéroté pour réaliser un plan de masse. Les endroits où les ceps sont manquants correspondent à un emplacement de cep et sont donc comptés dans le plan de masse. Cela nous a permis d'identifier chaque individu par des coordonnées. Par exemple, le pied 4-24R est l'individu situé au 24^{ème} emplacement du 4^{ème} rang de la parcelle Renart. Cela facilitera la recherche des pieds dans la parcelle. De plus, chaque pied est marqué par une bombe de chantier. En rouge sont peints les vieux pieds, en jaune les clones agréés.

IV. Outils de caractérisation ampélographique.

L'objectif de cette étude ampélographique est de voir s'il y a une ressemblance phénotypique entre les vieux pieds afin de créer des classes d'individus mais aussi de les comparer aux clones agréés pour s'assurer, partiellement, qu'ils ne soient pas des clones.

1. Descripteurs des parties végétales.

L'Organisation Internationale de la Vigne et du Vin (OIV) propose cent soixante descripteurs de la vigne permettant de discriminer les variétés. Bien qu'il s'agisse uniquement de la variété Cabernet franc, il est jugé intéressant de comparer les vieux pieds entre eux et avec des clones connus grâce à des critères ampélographiques pointus. Ces critères ont été choisis en rapport avec les caractéristiques du Cabernet franc (Figure 10). Les observations ont été faites pendant la nouaison par un seul observateur.

2. Descripteurs de la morphologie des grappes.

Par analogie, la morphologie des grappes est appréciée selon les critères de la Figure 11. Ces observations sont réalisées post véraison par un seul observateur. Elles sont appréciées à l'aide d'un objet de référence : un marqueur. En effet, pour juger de la longueur et de la largeur de la grappe, la taille du stylo sert de référence. Pour la taille des baies, le bouchon sert de référence. Ces critères sont notés de 1 à 4 sauf pour le nombre d'ailes allant de 0 à 3. Certains de ces critères ampélographiques sont aussi des critères agronomiques que nous n'utiliserons pas seulement pour discriminer les pieds mais aussi pour savoir s'ils répondent aux objectifs de production.

V. Les critères de suivi agronomique.

1. Evaluation de la vigueur.

La vigueur des vignes est estimée par le dosage de l'azote pétiolaire. En effet, le statut azoté de la vigne est corrélé à sa vigueur [77]. Ainsi, pour chaque pied, des échantillons de feuilles prélevés à l'opposé d'une grappe inférieure au cours de la véraison sont envoyés au Laboratoire Aurea (Annexe 8). L'azote pétiolaire est dosé par la méthode Dumas.

2. Croissance végétative.

La croissance de la vigne est mesurée par la mesure des mérithalles [78]. La mesure des apex est plus compliquée à mettre en place sur une vigne régulièrement écimée. Ainsi, pour chaque pied, la longueur des mérithalles de 4 rameaux principaux est mesurée à l'aide d'un mètre.

3. Véraison.

Le suivi de véraison consiste en une estimation visuelle du taux de baies vérées. Les mesures sont réalisées trois fois par semaine par un observateur. Ensuite, la date de mi-véraison est extrapolée.

4. Evaluation de la fertilité et le rendement.

A la floraison, la fertilité de chaque pied est observée après la floraison avant le premier éclaircissage. Les deux observateurs ont compté le nombre de grappe ainsi que le nombre de rameau pour chaque pied. Une moyenne pondérée est ensuite calculée. Ainsi, on a pu évaluer la fertilité avec le nombre de grappe par rameau et la charge totale avec le nombre de grappe par pied.

5. Evaluation des contaminations fongiques.

Les contaminations fongiques sont estimées tout au long de la campagne phytosanitaire par passage régulier. Lors de ce millésime, seulement le Black Rot en début de campagne phytosanitaire a contaminé les parties photosynthétiques. Ainsi, l'unique observateur a estimé le pourcentage de symptôme dû au Black Rot par l'observation de 10 feuilles par pieds.

6. Evaluation de la coulure.

La coulure est estimée à la nouaison pour chaque pied par l'observation de toutes les grappes. Cette maladie physiologique de la vigne impacte négativement le rendement [79] d'où l'intérêt de sélectionner des vignes présentant une coulure faible. L'observateur a évalué l'importance de la coulure en quatre classes [80].

- 1 Coulure nulle.
- 2 Coulure faible.
- 3 Coulure modérée.
- 4 Coulure importante.

7. Estimation du volume des grappes.

Le volume de l'ensemble des grappes pour chaque individu est estimé à partir des observations de la taille et de la largeur des grappes après véraison. Le volume des grappes est corrélée avec le rendement du pied [81]. Le volume est calculé selon la formule suivante :
$$V = \frac{Longueur \times \pi \times (\frac{Largeur}{2})^2}{3}$$

8. Evaluation de la compacité des grappes.

La compacité de l'ensemble des grappes pour chaque individu est évaluée par un observateur après véraison. Elle est catégorisée en quatre classes. L'évaluation pour catégoriser en classe consiste d'abord à observer si les baies d'une même grappe se touchent ou non. Ensuite, on observe si de la lumière pénètre à travers la grappe. Puis, on observe si les baies se gênent lors de leur formation. On peut aussi observer des déformations de baie, voir des éclatements. Enfin, l'observateur peut classer chaque individu après l'analyse visuelle de l'ensemble des grappes. Une méthode plus précise est l'Indice de compacité des grappes de Marc Fermaud [82] mais il aurait fallu couper les grappes avant vendange.

- 1 Grappe très lâche.
- 2 Grappe lâche.
- 3 Grappe compacte.

4 Grappe très compacte.

9. Mesure du poids et de la taille des baies.

Pour cette mesure, les vieux pieds et les clones agréés témoins ne sont plus analysés individuellement mais regroupé en deux modalités selon les critères suivant : vieux pieds et clones agréés témoins. Ce regroupement est fait en raison de la faible quantité de raisin que représente un seul individu par modalité. Les prélèvements affaiblissent beaucoup la quantité de vendange et il serait techniquement compliqué de vinifier chaque individu séparément.

Pour la modalité clone agréé et vieux pied, 30 baies sont prélevées aléatoirement et pesées à l'aide d'une balance précise à 0,01g. Le résultat pondéré donne une estimation du poids moyen d'une baie par modalité. Il en est de même pour la taille des baies qui ont été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse précis à 0,05 cm. La grosseur des baies influe directement sur le rendement [83] et la qualité du vin [84], [85] d'où l'intérêt que l'on porte à ces mesures.

VI. Etude œnologique.

L'étude œnologique a pour but de vérifier la pertinence de la sélection massale. Ainsi, deux vins sont vinifiés en micro-vinification : un vin issu de clones agréés et un autre issu uniquement des individus issus de la sélection massale. La méthode, le matériel et les produits œnologiques sont les mêmes pour les deux vins. Plusieurs outils de comparaison sont ensuite utilisés pour analyser la qualité des essais.

1. Modalités de vinification.

a. Vendanges.

Les vendanges ont été réalisées le 21 septembre 2022 par une équipe de quatre coupeurs et un porteur. Les rangs et les pieds étaient identifiés. Deux coupeurs s'occupaient des pieds de massale, peints en rouge et comportant une rubalise. Les deux autres coupeurs s'occupaient des pieds peints en jaune avec deux rubalises pour indiquer que c'est un clone agréé témoin. Les grappes sont ensuite déposées dans des caisses bien identifiées. Au chai, les grappes sont égrappées et tombent sur une table vibrante. Les baies subissent ensuite un tri densimétrique. Avant d'accéder à la cuve inertée au CO₂, les baies passent à travers un fouloir.

b. Matériel de vinification

Les raisins sont vinifiés dans des tank à lait spécialement modifiés pour les micro-vinifications. La double paroi contenant un serpentin est très adaptée pour la régulation thermique. Une vanne précédée d'un filtre ont été ajoutée. Les cuves disposent d'un couvercle hermétique et sont connectées au circuit de thermorégulation.

c. Vinifications.

- Macération pré fermentaire à froid :

Une fois les raisins foulés, la cuve est inertée et refroidie par ajout de glace carbonique. Un pré encensement de *S. cerevisiae cerevisiae* est réalisé à 10g/hL afin de prévenir d'éventuel départ en fermentation spontanée non désirée. De plus, du Flor'protect de Lamothe-abiet est ajouté à 20g/hL. La température du jus est amenée à 4°C et maintenue pendant 5 jours à cette température. Tous les jours, un léger piégeage est réalisé pour immerger le marc. En effet, seulement la partie supérieure du moût est en contact avec les parties solides qui contiennent les composés d'intérêts comme les composés phénoliques. Ainsi, le pigeage est le

mieux adapté au petit volume pour homogénéiser le moût et renouveler l'extraction liquide/solide qui sature en composés extractibles. Il est accompagné d'un ajout de glace carbonique afin de protéger les jus de l'oxydation.

- Levurage :

Après la macération pré-fermentaire à froid qui a pour conséquence l'extraction de couleur et d'arômes, les vins sont une seconde foisensemencés à 10g/hL par la levure Actiflore F33 de Laffort. Ces levurages sont fait en suivant le mode d'emploi indiqué sur le paquet de levures. Ensuite, la température des cuves est montée à 28°C afin de lancer la fermentation alcoolique. Comme il n'y avait qu'un piquage de libre sur le circuit d'eau chaude, la montée en température des deux cuves ne se sont pas faites en simultanément mais avec deux jours d'intervalles.

- Fermentation alcoolique :

En début de fermentation, de l'azote sous le nom de Vitaferment de Lamoth-abiet est ajouté afin d'atteindre 150mg/L d'azote assimilable dans chaque cuve. Ensuite, à mi-fermentation, aux alentours de 1,040 de densité, l'azote assimilable est ajusté à 210 mg/L. Constitué de sulfate d'ammonium et de chlorhydrate de thiamine, le Vitaferment favorise le développement et la multiplication des levures. Un seul remontage à l'aide d'un sceau est fait afin d'apporter de l'oxygène aux levures pour favoriser leur multiplication en début de fermentation alcoolique. De plus, il a eu pour conséquence de volatiliser les composés responsables de l'odeur de réduction perçue lors des dégustations quotidiennes. Les dégagements de dioxyde de carbone produit lors de la FA inertent le chapeau de marc. La fermentation a nécessité 10 jours pour que les cuves soient sèches, soit une concentration en sucre fermentescible inférieure à 0,2g/L.

2. Déroulement des vinifications.

La cinétique de fermentation est suivie par le contrôle de la densité et de la température des vins en fermentation. De plus, des dégustations quotidiennes ont permis de contrôler qu'aucun défaut ne se développe dans les 2 modalités.

a. Densité.

Lors de la fermentation alcoolique, la densité du vin est mesurée chaque jour. Un mustimètre est prévu à cet effet. En dessous de 1000 de densité, un densimètre plus précis permet de suivre l'avancé de la fermentation.

b. Température.

Le mustimètre possède un thermomètre intégré permettant de contrôler la température en même temps que la mesure de densité. La réaction de fermentation alcoolique étant une réaction exothermique, il est nécessaire de réguler à la baisse la température de la cuve. N'ayant pas de sonde thermique intégrée aux cuves, la prise de décision du refroidissement des cuves s'est faite manuellement à l'aide des informations de température données par le mustimètre-thermomètre.

3. Analyses chimiques sur moût et vins.

a. Analyses de suivi de vinifications.

En cours de fermentation, la densité optique à 420nm, 520nm et 620nm a été mesurée par le laboratoire Oeno-Lab afin d'observer la cinétique d'extraction des polyphénols par la mesure de l'intensité colorante. [86]. L'indice des polyphénols totaux est mesuré à 280 nm.

b. Analyse de la composition phénolique des essais.

La composition phénolique des essais est analysée par HPLC-DAD et MS [87]. Les anthocyanins, les flavanols, les acides phénols et les flavonols sont quantifiés. La qualité des vins rouges étant fortement liée à leur composition phénolique, le dosage de ces molécules nous informe du potentiel qualitatif des vins issus des pieds de massale et des clones agréés.

4. Dégustation avec panel.

La dégustation répond aux critères de qualités recherchées par le Château Angélus. Au cours de cet exercice, nous pouvons évaluer les qualités organoleptiques des vins produits à partir de ces individus sélectionnés, toujours en comparaison au vin témoin issu de clones agréés.

a. Présentation du panel.

Pour la dégustation des baies, le panel est constitué de 12 salariés, stagiaires, alternants et contractuels d'Angélus. Ils ont tous des connaissances en dégustation et un rappel sur la manière de déguster une baie eut lieu avant l'analyse sensorielle.

Pour la dégustation des vins finis, le panel est constitué de 24 étudiants de Bordeaux Science Agro en lien avec la viticulture.

b. Évaluation sensorielle des baies.

La veille des vendanges, des baies sont prélevées pour être dégustées. Les baies prélevées sont séparées en deux catégories pour des raisons de quantité. Ces lots sont anonymés pour palier d'éventuel biais. Ainsi, les baies issues des individus de sélection massale sont notées 106 et les baies des clones agréés portent le numéro 212. La méthodologie de dégustation développée par l'ICV [88] se compose en trois phases afin d'analyser la qualité sensorielle des baies. On déguste d'abord la pulpe seule en isolant la pellicule et les pépins afin d'évaluer l'acidité et la quantité de sucre présente dans le raisin. On peut aussi détecter certaines notes herbacées et évaluer une partie du potentiel aromatique de la baie. La qualité tannique est évaluée grâce à la dégustation de la pellicule et des pépins. Une partie des arômes est aussi trouvée dans ces parties du raisin.

c. Test triangulaire.

Une dégustation triangulaire est réalisée pour différencier les 2 modalités sensoriellement. Le test triangulaire est réalisé dans des trois verres transparents par juges, de normes ISO 4120 2004. Deux verres contiennent le même vin et le troisième contient un autre vin. Les juges doivent tenter de retrouver le verre différent des autres sans expliquer son choix [89]. Les modalités anonymées par un code à 3 chiffres sont présentées aux dégustateurs selon 6 combinaisons différentes aléatoirement.

d. Dégustation des vins.

Les deux vins de l'étude ont fait l'objet d'une dégustation comparative à l'aveugle à la suite du test triangulaire. La fiche de dégustation est disponible en annexe. Les vins sont identifiés par un code à 3 chiffres. Les mêmes verres de dégustation que le test triangulaire ont été utilisés pour cette évaluation. On considère ici que les juges sont les répétitions [90].

VII. Analyse des données.

Les observations sont exportées sur Excel (Version 2013) à partir de Google Form. Les données sont ensuite traitées statistiquement à l'aide du logiciel Rstudio. Pour analyser les individus entre eux, les outils d'analyse statistiques utilisés sont des Analyses par Composante Principale (ACP), des tests de Kruskal-Wallis et de Wilcoxon et des Classifications Ascendantes Hierarchiques (CAH). Ces outils sont disponibles avec le package agricolae.

Le test de Kruskal-Wallis à 5% permet de déterminer si deux échantillons d'individus appartiennent à la même population ou non avec un taux de 5%. Il est complété par un test de comparaison de médiane Wilcoxon à 5% afin de déterminer si les groupes sont significativement différents. L'ACP, quant à elle permet de déterminer quelles sont les variables étudiées qui sont corrélées entre elles (positivement ou négativement), et visualiser sur un modèle en deux dimensions des données sur n dimensions. Elle permet aussi de connaître les variables qui caractérisent le plus les individus étudiés [91], et constitue un outil de choix pour appuyer les travaux dans le cadre d'une sélection massale [92]. On peut ensuite visualiser la position des individus étudiés sur le graphique à deux dimensions et les comparer les uns aux autres. La fidélité du modèle à la réalité est ensuite exprimée en pourcentage. La CAH permet de distinguer au sein d'une population des groupes homogènes en fonction des dissimilarités qu'il existe entre chaque individu [93].

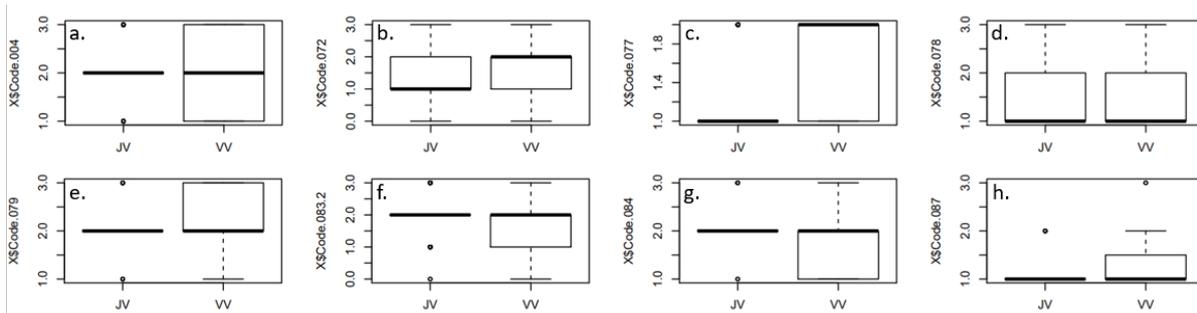


Figure 12 : Boxplots de dispersion des notes attribuées aux descripteurs des parties végétales des vignes en fonction de la modalité VV : individus issus de sélection massale, JV : Clones agréés témoins. a. densité des poils couchés de l'extrémité des jeunes rameaux ; b. gaufrure du limbe de la feuille adulte ; c. taille des dents par rapport à la taille du limbe de la feuille adulte ; d. longueur des dents par rapport à leur largeur de la feuille adulte ; e. degré d'ouverture du sinus pétiolaire de la feuille adulte ; f. dents dans les sinus latéraux supérieur de la feuille adulte ; g. densité des poils dressés sur les nervures principales de la face inférieure de la feuille adulte ; h. densité des poils dressés sur les nervures principales de la face inférieure de la feuille adulte.

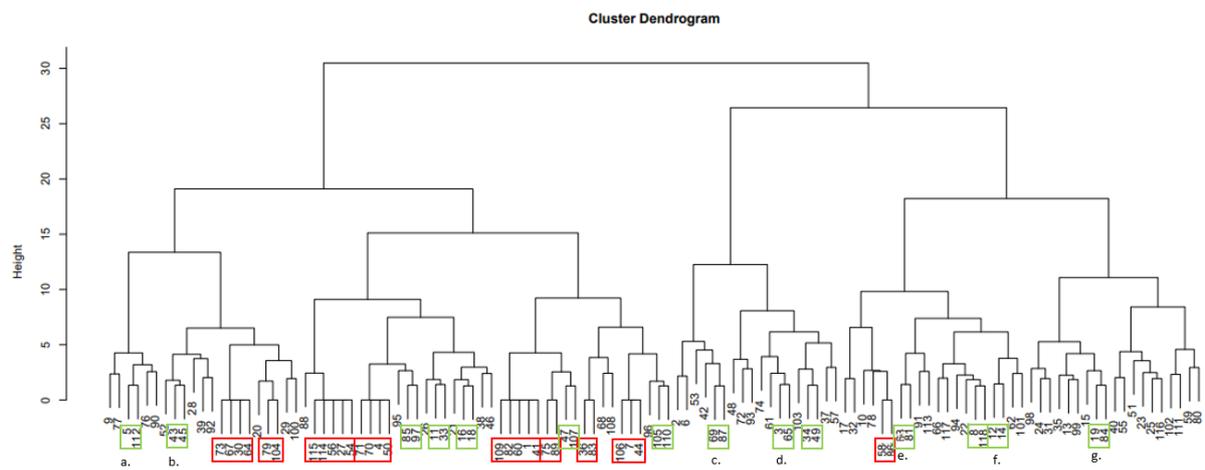


Figure 13 : Dendrogramme des descriptions des parties végétales des vignes.

PARTIE VI : RÉSULTATS

Au cours de la saison, un pied sélectionné comme témoin, 92-30R, a été arraché par des outils tractés lors du travail du sol. De plus, les grappes des pieds présentant un taux de coulure trop important ont été coupées. C'est le cas des pieds 46-14R et 40-48R qui sont des individus de massale. Ainsi, les observations sur grappes n'ont pas pu être réalisées. Ces pieds ont été écartés de l'étude ce qui amène à 37 individus sélectionnés et 79 clones agréés utilisés comme témoin.

I. Différenciation des massales des clones commerciaux.

1. Description des parties végétales.

Visuellement, on ne remarque peu de différence entre les deux modalités (Figure 12). Les tests statistiques de Kruskal Wallis confirment ce constat en affirmant qu'il n'y a pas de différence significative entre les individus de massale et les clones agréés pour la quasi-totalité des critères ampélographiques choisis. Cependant, la taille des dents par rapport à la taille du limbe de la feuille adulte des individus de massale est significativement plus grande que celle des clones agréés. On observe aussi une faible dispersion de notation de chaque critère pour les clones agréés avec que quelques clones qui présente une différence pour chaque critère. Seules les gaufres du limbe de la feuille adulte et la longueur des dents par rapport à leur largeur de la feuille adulte sont des critères ampélographiques clivant chez les clones agréés.

Il semble alors qu'il existe une similarité entre les clones d'un point de vue description des parties végétales et que les individus sélectionnés présentent une diversité. Nous allons maintenant voir si nous pouvons regrouper certains individus ensemble et si la majorité des clones présente le même phénotype.

On observe sur la Figure 13 que pour les individus ne présentant aucune différence selon les critères ampélographiques choisis, sont tous des clones agréés témoin (entourés en rouge). On observe aussi que dans les individus présentant qu'une seule différence (entourés en vert), il y a des paires clone agréé-individus de massale mais aussi des paires d'individus de massale ensemble. C'est-à-dire que certains individus de massale présentent une seule différence avec un individu clone. C'est le cas pour le pied 92-46R avec le 12-73C (a.) ; 38-100R avec 39-52R (b.) ; 5-27C avec 68-46R (c.) ; 50-39R avec 65-43R (e.) et 17-48R avec 19-60R (f.). Les individus de massale présentant qu'une seule différence entre eux sont le 20-87R avec le 66-61R (d.) et le 11-66C avec 50-56R (g.). Cependant, étant donné que les groupes de clones de Cabernet franc agréés connus, 327 et 214 ne ressortent pas à l'aide des critères ampélographiques choisis, nous ne pouvons pas affirmer que les paires d'individus précédemment citées sont le même individu d'un point de vu génétique. Cela montre aussi une variabilité phénotypique intra clonale.

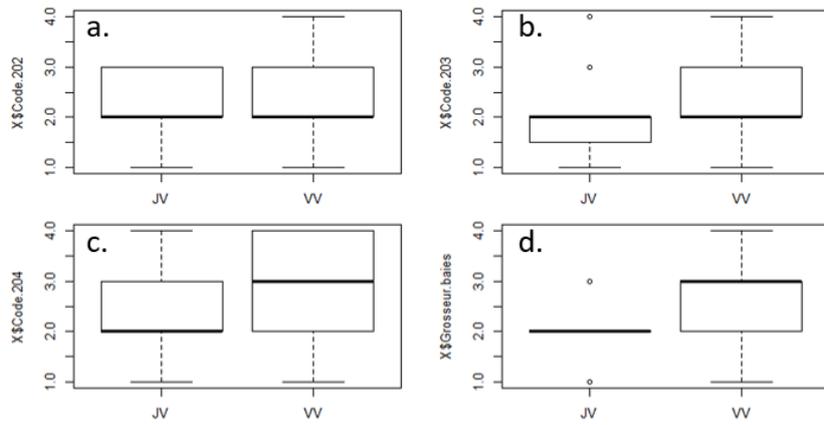


Figure 14 : Boxplots de dispersion des notes attribuées aux descripteurs de la morphologie de la grappe en fonction de la modalité VV : individus issus de sélection massale, JV : Clones agréés témoins. a. longueur de la grappe sans pédoncule ; b. largeur de la grappe ; c. compacité de la grappe ; d. grosseur des baies.

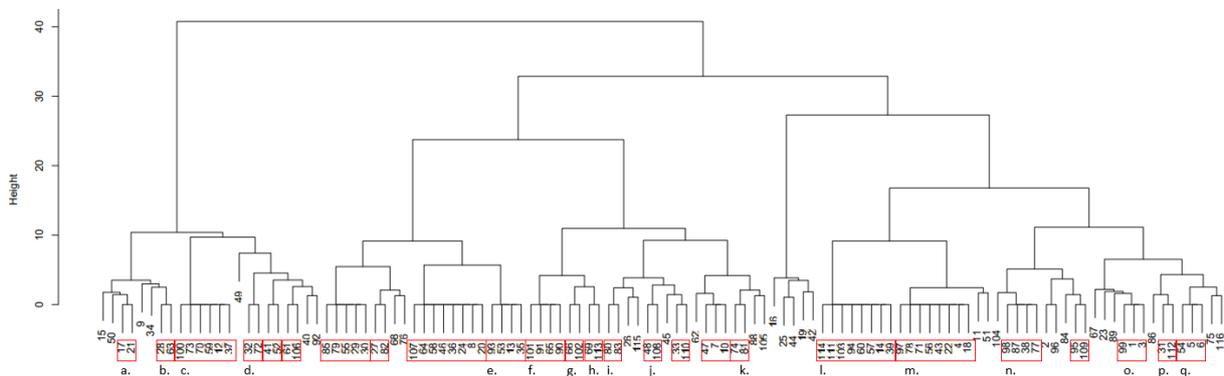


Figure 15 : Dendrogramme des descriptions de la morphologie de la grappe

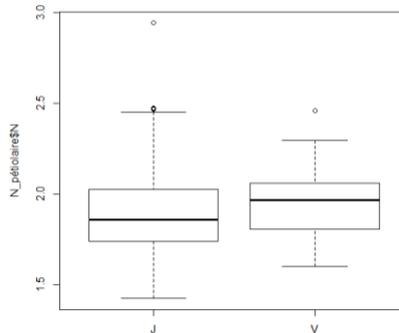


Figure 16 : Boxplot du pourcentage d'azote pétiole selon la méthode Dumas. J : clones agréés témoin ; V : individus de massale.

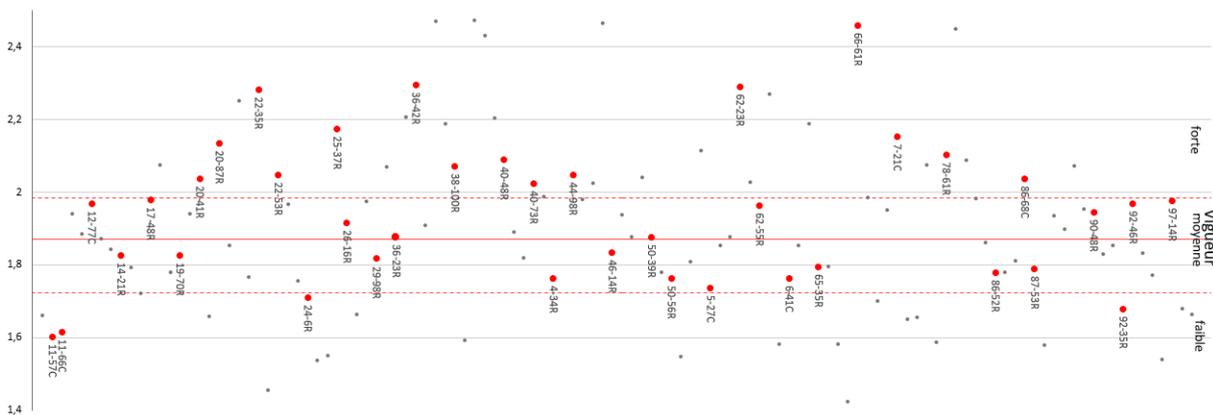


Figure 17 : Qualification de la vigueur selon l'azote pétiole de chaque individu. Valeurs seuils : premier et troisième quartile de la population clone.

2. Approche comparative par morphologie de la grappe.

On observe une différence significative entre les clones et les pieds de massale selon la largeur des grappes, la compacité des grappes ainsi que la grosseur des baies (Figure 14).

En réalisant une CAH avec les données récoltées sur chaque individus, nous obtenons un classement par groupe qui ne permet pas de ségréguer les clones des individus de massale (Figure 15). Cependant, nous observons des groupes d'individus qui ont les mêmes notations des descripteurs de la morphologie de la grappe. Cependant, bien qu'ils soient identiques d'un point de vu de la morphologie de la grappe, il est impossible de dire que ce soient les mêmes individus. De plus, nous ne retrouvons aucun couple d'individu précédemment identifié avec les caractéristiques ampélographiques des parties végétales.

On en conclut donc que les critères ampélographiques des parties végétales ainsi que de la grappe ne permettent pas dans ce cas d'identifier des groupes d'individus. De plus, n'ayant pas de répétition par individus, ces analyses statistiques descriptives sont intéressantes mais non pertinentes d'un point de vue statistique. Les observations des prochaines années créeront la répétition.

II. Résultats agronomiques.

1. Estimation de la vigueur par azote pétiolaire.

Après avoir tenté de discriminer les individus par ampélographie, les critères agronomiques ont été étudiés. Graphiquement, nous n'observons pas de différence de matière sèche d'azote dans les pétioles. Un test de Wilcoxon à 5% (échantillon non appariés, distribution non normal et pas homoscedasticité) valide cette hypothèse.

Afin de juger la vigueur des pieds de massale, la moyenne d'azote pétiolaire chez les individus témoin est calculée. Pour cela nous avons d'abord supprimé 3 individus outlier qui sont aussi visible sur le boxplot (Figure 16). Ainsi, l'échantillon suit alors une loi Normale. Il a été choisi arbitrairement le premier et troisième quartile pour juger de l'état de vigueur des pieds. Les individus ayant un pourcentage d'azote pétiolaire inférieur à la valeur du premier quartile de l'échantillon de pied témoin sont considérés comme faiblement vigoureux. Les individus ayant un pourcentage d'azote pétiolaire supérieur à la valeur du troisième quartile de l'échantillon de pied témoin sont considérés comme fortement vigoureux. On observe alors graphiquement que les pieds 11-57C, 11-66C, 24-6R et 92-35R sont considérés comme faiblement vigoureux (Figure 17). On a aussi 15 individus de massale dont on juge que leur vigueur est forte. Cependant, ces résultats paraissent élevés par rapport à ce que l'on trouve dans la littérature. Une teneur en azote totale jugée normale dans le pétiole est comprise entre 0,4% et 0,6% [77]. On suspecte alors que les résultats fournis par Auréa correspondent à l'azote total dans le limbe dont la teneur normale est comprise entre 1,8% et 2,4%. Ainsi, seulement le 66-61R serait jugé en excès de vigueur.

Pour confirmer ces résultats, les estimations de vigueur par dosage de l'azote pétiolaire par la méthode Dumas sont complétées par l'estimation de croissance par la mesure de la longueur des mérithalles.

2. Estimation de la croissance par la mesure des mérithalles.

La mesure des mérithalles de chaque individu nous a permis de construire une courbe de croissance. D'abord, on observe que les clones et les individus de massales ont une croissance semblable. Avec un test statistique de comparaison de moyenne de Wilcoxon à 5%, on en déduit qu'il n'y a pas de différence de croissance significative. Ensuite, graphiquement, on observe que certains pieds, 4-34R, 65-35R et 6-41C ont une croissance plus faible que les autres pieds de massale. Pourtant, ces pieds ne sont pas identifiés comme faiblement vigoureux avec les analyses d'azote totale pétiolaire. Ainsi, il n'y a pas de corrélation dans ce cas entre la croissance des mérithalles et le pourcentage d'azote pétiolaire. Après observation visuelle au vignoble, ce sont les résultats de l'azote pétiolaire qui sont en adéquation avec la vigueur observée et la croissance a supposément été impactée par des facteurs externes.

3. Rendement et fertilité.

Aucune différence graphique n'est observée entre les individus de la massale et les clones témoins (Figure 18). Le test de Wilcoxon au seuil de 5% ne permet pas d'affirmer que les rendements sont significativement différents entre les deux modalités. Ensuite, pour juger le rendement des pieds de massale, nous les avons classés de manière analogique à ce qui a été fait pour l'azote pétiolaire. Le rendement des clones étant distribués normalement, nous avons pris le premier et troisième quartile comme borne de valeur pour juger la charge (Figure 19). En dessous du premier quartile qui est de 10 grappes par pied, le rendement est jugé faible. Au-dessus de 16 grappes par pied, le rendement est jugé élevé.

On observe que les pieds 11-66C, 14-21C, 20-87C, 22-35C, 22-53C, 38-100C, 44-98C, 78-61C et 92-46C ont un rendement jugé faible par rapport à la moyenne du rendement des clones. En revanche, les individus 17-48R, 24-6R, 26-16R, 62-55R et 7-21C ont un rendement élevé.

En rapportant le nombre de grappe au nombre de rameau, on obtient alors un nombre de grappe moyen par rameau par pied. On considère alors que cette mesure correspond à la fertilité du pied. Un test de comparaison par paire permet d'affirmer que la fertilité est significativement différente. Graphiquement, on observe que de nombreux pieds de massale présentent une fertilité assez faible comparé aux clones (Figure 20). Il faut remettre ces valeurs dans le contexte d'Angélus. Lors des vendanges en vert, une à deux grappes sont laissées par rameaux. Ainsi, on peut alors considérer arbitrairement que 1,25 grappes par rameau en moyenne est le seuil où les individus en dessous ont une fertilité faible. Ainsi, les individus 14-21R, 20-87R, 22-35R, 22-53R, 38-100R, 44-98R, 65-35R, 78-61R, 87-53R, 92-35R et 92-46R présentent une faible fertilité. Cela se recoupe généralement avec les résultats de rendement.

4. Coulure.

Graphiquement, avec les valeurs aberrantes, aucune hypothèse ne peut être prononcée (Figure 21). On remarque néanmoins que les pieds 40-48R et 46-14R présentent un gros pourcentage de coulure estimée à 95%. Ainsi, pour rendre plus visible le graphique, les valeurs aberrantes sont supprimées (b.). La coulure chez les individus de massale semble en moyenne être inférieure aux clones. Cette hypothèse est confirmée par un test de comparaison de moyenne Wilcoxon à 5%.

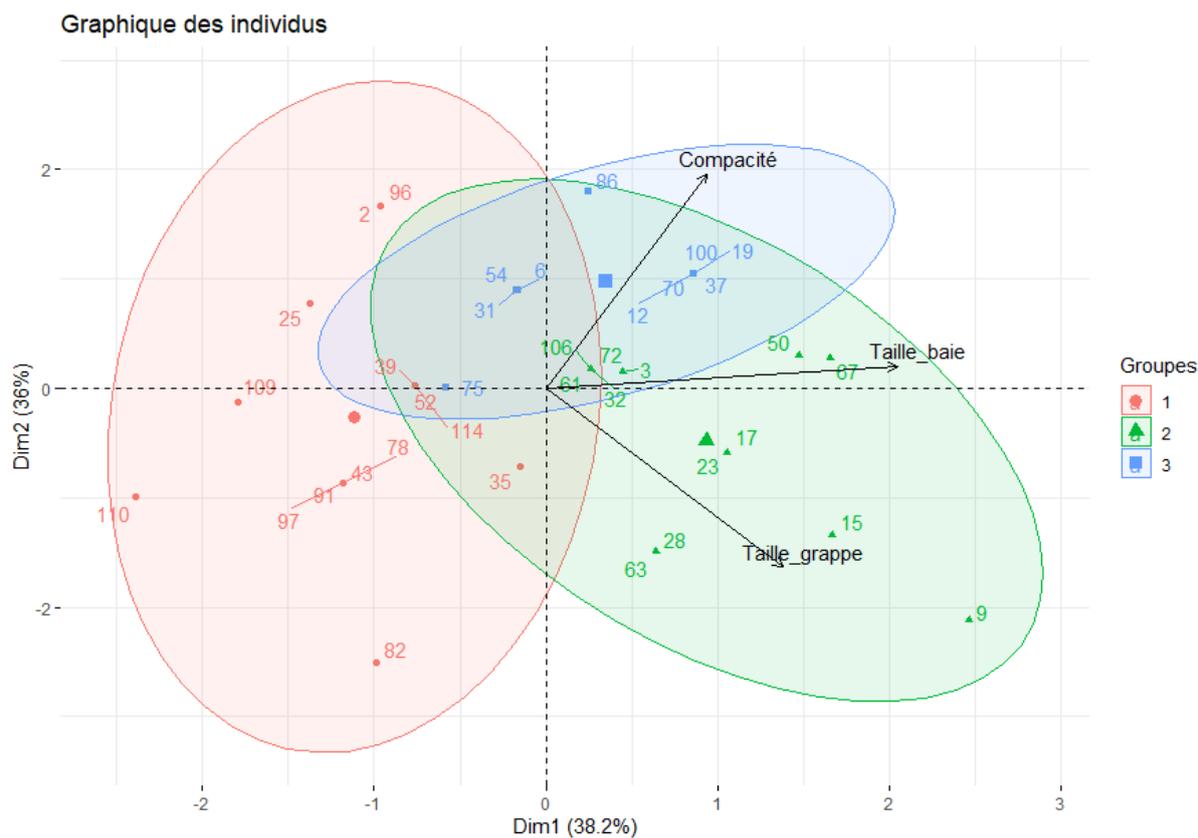


Figure 22 : ACP de la morphologie de la grappe des individus de massale.

Groupe	Individus	Caractéristiques
1	11-57C ; 22-53R ; 29-98R ; 36-42R ; 38-82R ; 4-34R ; 86-52R ; 92-35R ; 92-46R ; 97-14R	Petite – moyenne grappe Compacité moyenne Petites baies
2	11-66C ; 14-21R ; 19-70 R ; 20-41R ; 22-35R ; 24-6R ; 26-16R ; 40-73R ; 50-39R ; 50-56R ; 5-27C ; 62-55R ; 90-48R	Longue grappe Compacité moyenne Moyenne à grosses baies
3	25-37R ; 12-77C ; 17-48R ; 20-87R ; 36-23R ; 44-98R ; 62-23R ; 6-41C ; 7-21C ; 87-53R	Petite grappe Compacité élevée Grosses baies

Tableau 4 : Caractéristiques de la morphologie de la grappe des groupes d'individus de massale.

5. Black rot

Après la notation des contaminations de BlackRot, un test de comparaison de moyenne de Wilcoxon à 5% permet d'affirmer que la sensibilité des clones agréés est significativement différente des individus de massale. En effet, les clones ont présenté en moyenne des signes de contamination plus importante que les individus de massale.

6. Morphologie de la grappe.

a. Volume de la grappe.

A l'aide d'un test statistique de comparaison de moyenne de Wilcoxon à 5%, aucune différence significative n'existe entre le volume des grappes des clones de celui des grappes des individus de massale. Ainsi, ce résultat concorde avec un rendement similaire entre les deux modalités.

b. Taille des baies.

Le test statistique de comparaison de moyenne de Wilcoxon à 5% permet d'affirmer qu'il existe une différence significative entre la taille des baies des clones de celle des baies des massales. Les individus de massales présentent des baies significativement plus grosses. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les pieds de massale étant plus vieux, leurs racines puisent l'eau plus profondément dans le sol. Lors de ce millésime marqué par la sécheresse, cette faculté a pu se voir notamment à travers l'accumulation d'eau dans les baies.

c. Compacité de la grappe.

Le test statistique de comparaison de moyenne de Wilcoxon à 5% permet d'affirmer qu'il existe une différence significative entre la compacité des grappes des deux populations. Les individus de massales présentent une compacité significativement plus importante. Cette différence peut aussi s'expliquer par le fait qu'en moyenne les baies des individus de massales sont plus grosses et donc se touchent d'avantage pour une taille de grappe identique.

d. Classes d'individus selon la morphologie des grappes.

Les critères de la morphologie de la grappe sont choisis afin d'avoir une bonne production, un rapport pulpe-pellicule important pour la concentration mais aussi prophylactique afin de prévenir les contaminations de pourriture grise. Ainsi, la taille des baies recherchée est petite à moyenne, avec des longues grappes et une compacité faible. En réalisant une analyse des composantes principales couplée à un classement hiérarchique ascendant, 3 groupes d'individus ont été identifiés (Figure 22). Le groupe 1 est caractérisé par des petites baies, des grappes petites à moyenne et une compacité faible à moyenne. Les individus du groupe 2 ont des longues grappes, faible à moyennement compact et avec des baies moyenne à grosse. Le groupe 3, le moins intéressant est caractérisé par des petites grappes compactes, avec des grosses baies (Tableau 4).

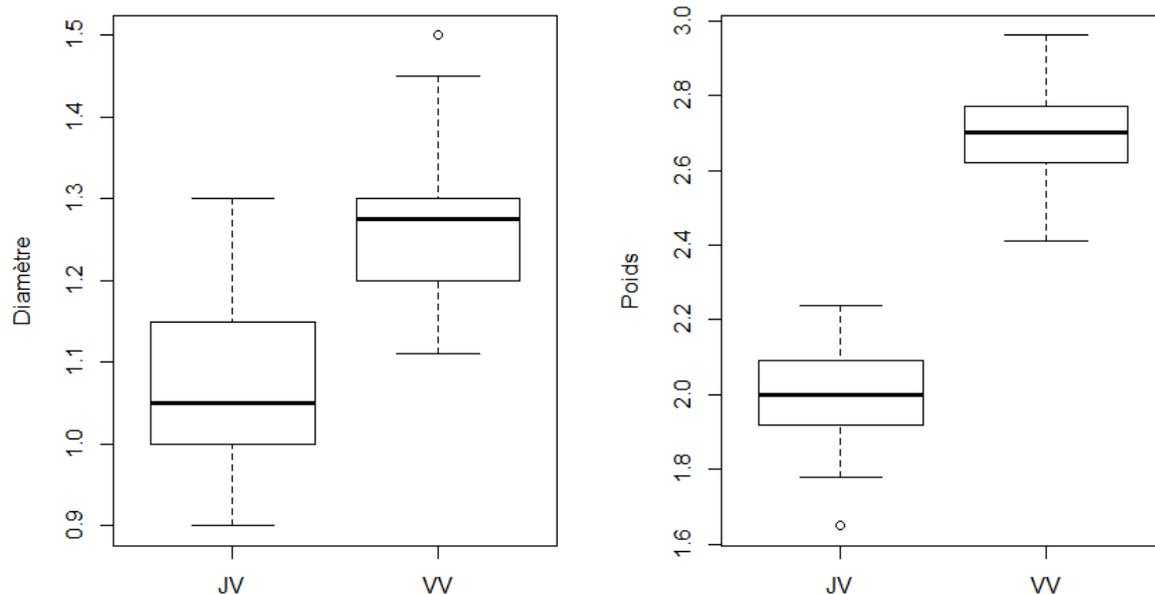


Figure 23 : Boxplot du diamètre et du poids des baies. JV : clones agréés témoin ; VV : individus de massale.

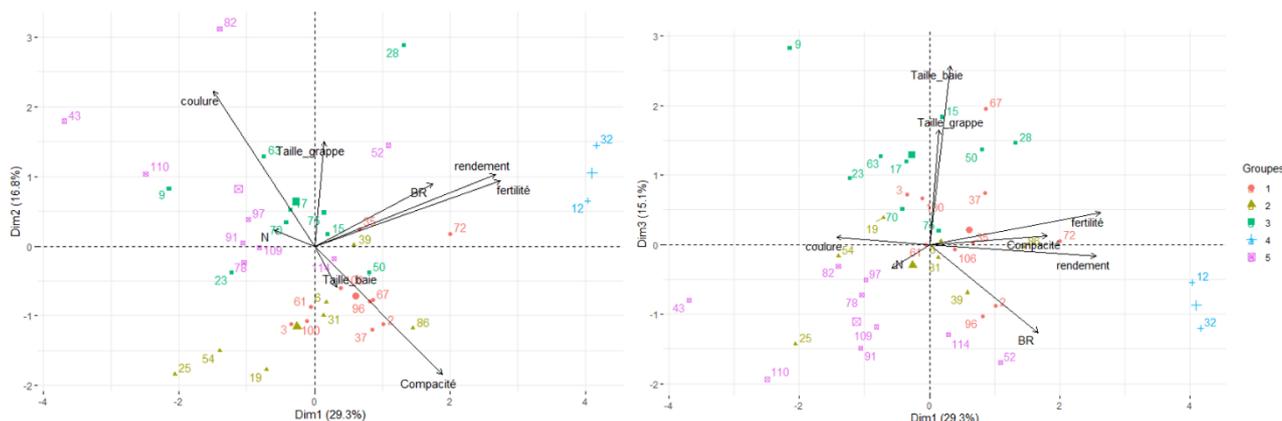


Figure 24 : ACP des caractéristiques agronomiques des individus de massales.

Classe	Individus								
1	11-57C ; 11-66C ; 29-98R ; 50-39R ; 87-53R ; 36-23R ; 86-52R ; 5-27C ; 62-55R ; 90-48R								
2	25-37R ; 12-77C ; 20-87R ; 44-98R ; 7-21C ; 22-53R ; 36-42R								
3	6-41C ; 14-21R ; 19-70R ; 20-41R ; 22-35R ; 24-6R ; 40-73R ; 50-56R ; 62-23R								
4	17-48R ; 26-16R								
5	38-82R ; 4-34R ; 65-35R ; 66-61R ; 78-61R ; 86-64C ; 92-35R ; 92-46R ; 97-14R								

Classe	Effectif	Charge par pied	Charge par rameau	N pétiolaire	Couleur	Black Rot	Taille des grappes	Compacité des grappes	Taille des baies
1	10	13,70	1,535	1,8	0,5	0	2,2	3,7	2,5
2	7	12,14	1,2821	2,117	0,2857	0	1,286	3,286	2,714
3	9	12,11	1,5785	1,947	3,111	0	2,889	2,778	3,111
4	2	24,50	2,233	1,947	0	0	2,5	4	2,5
5	9	10,67	1,167	1,955	3,222	0,444	2	2,111	1,889

Tableau 5 : Groupes d'individus de massale par CAH et leurs caractéristiques agronomiques. vert : correspond aux critères attendus ; rouge : ne correspond pas aux critères attendus.

7. Diamètre et poids des baies.

Lors des vendanges, nous avons remarqué une différence de poids et de taille entre les individus de massale et les clones témoins (Figure 23). Un test statistique de comparaison de moyenne de Wilcoxon à 5% permet d'affirmer qu'il y a une différence significative entre les baies des individus de massale et celles des clones. Ainsi, les baies de massale sont plus grosses et plus lourdes que les baies des clones.

8. Analyse des composantes

Les données récoltées sur tous les individus de massale sont traitées afin de les classer par groupe homogène avec la méthode de la Classification Ascendante Hiérarchique. Cela permet de regrouper les individus en plusieurs classes homogènes (Tableau 5). Cinq groupes ont été identifiés. On peut alors caractériser les classes à l'aide de barycentre.

Classe 1 : individus caractérisés par une vigueur moyenne, un rendement moyen (charge et taille de grappe moyenne) et des grappes compactes présentant peu de coulure.

Classe 2 : individus caractérisés par une fertilité faible, une vigueur élevée et des petites grappes plutôt compactes avec peu de coulure.

Classe 3 : individus caractérisés par un des grandes grappes moyennement compactes avec des grosses baies et de la coulure. La vigueur et le rendement est moyen.

Classe 4 : individus caractérisés par un rendement élevé (grosses grappes et charge importante), aucune coulure et des grappes très compactes.

Classe 5 : individus caractérisés par une charge faible, de la coulure, des petites baies et une compacité des grappes faible. C'est le seul groupe qui présente des contaminations au Black Rot.

Nous observons que les ACP ne sont pas visuels car les trois premières dimensions n'expliquent que 60% de la variabilité entre pied (Figure 24).

Ainsi, aucun groupe ne répond à tous les critères mais certains se détachent du lot. La classe 4 présente des grappes compactes mais les individus sont intéressants pour la production avec un rendement élevé. La classe 1 est moins intéressante que la classe 4 car les individus présentent des caractères moyens pour tous les critères avec une grosse compacité des grappes. La classe 3, hors la présence de coulure et des grosses baies, les individus sont dans la moyenne. Les grosses grappes et grosses baies compensent la charge moyenne. La classe 5 est peu intéressante car la production est faible et les individus sont sensibles à la coulure. La classe 2 présente des caractéristiques moyennes. Les individus peuvent être intéressants avec une taille adaptée à la vigueur.

Cependant, ces résultats sont tirés d'une seule observation par critère et par pied. Les conclusions ne sont donc pas rigoureusement vraies mais ces données devront être réutilisées lors des prochaines années de prospections afin d'avoir une répétition.

III. Suivre œnologique.

1. Suivre de l'extraction des composés phénoliques.

Au cours de la macération pré-fermentaire à froid, une différence significative d'extraction des anthocyanes a été mise en évidence par un test de comparaison par paire. Par la suite, aucune différence significative n'a été observée. Ainsi, l'extraction par procédé mécanique et/ou la modification du milieu en phase hydro-alcoolique a eu pour conséquence l'homogénéisation de l'extraction des composés phénoliques.

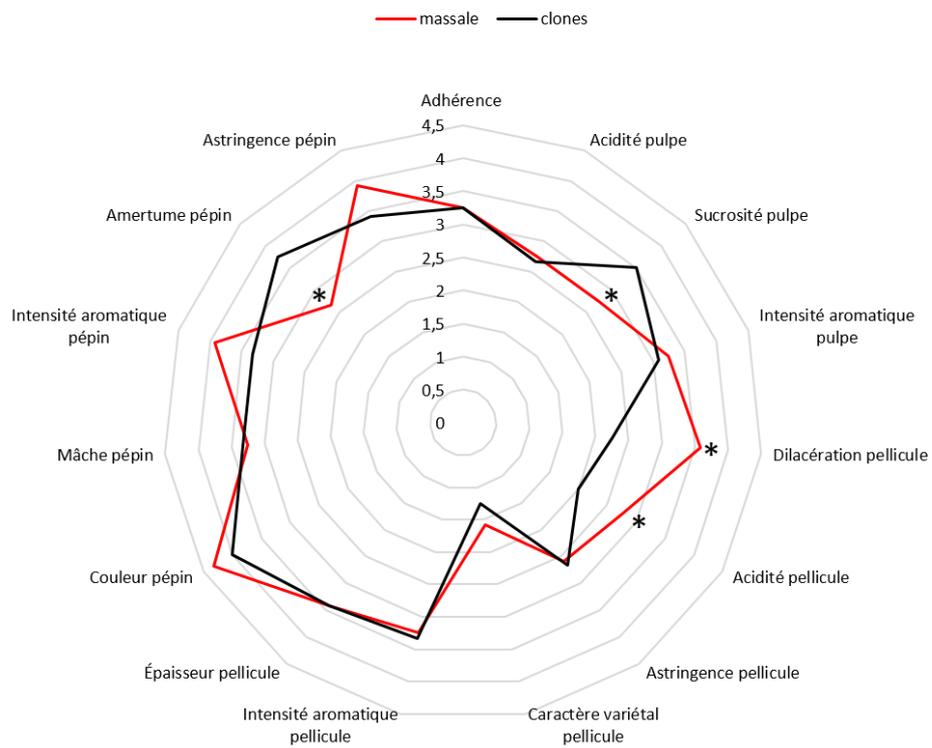


Figure 25 : Profil de dégustation des baies. Rouge : massales ; Noir : clones agréés.

2. Dégustation des baies.

Moyenne des notes de dégustation de baies sur 5 le 20 septembre. Des tests statistiques de comparaison de moyenne de Wilcoxon à 5% ont permis de conclure que les baies des individus de massale ont une sucrosité moins importante et une acidité plus importante que les clones (Figure 25). De plus, leur pulpe est plus facile à dilacérer et les pépins présentent une amertume moins importante. Alors, on pourrait supposer que les raisins de massale donnent des vins plus frais dû à l'acidité plus importante, ce qui serait une qualité vis-à-vis du contexte climatique et de l'attente du marché [14].

3. Test triangulaire.

Avec les résultats du test triangulaire, nous ne pouvons pas conclure qu'il y a une différence significative de perception sensorielle entre les deux vins. Seul 11 dégustateurs ont donné une réponse juste.

4. Dégustation des vins

La différence entre les deux vins n'étant pas marquée selon le test triangulaire, la différence pour chaque descripteur ne peut être analysée.

PARTIE VII : DISCUSSION

I. Bilan et limite de la prospection.

1. Objectifs initiaux et résultats obtenus.

Premièrement, nous avons voulu distinguer les pieds de massale et les clones afin de s'assurer que les individus en observations ne soient pas des clones et ainsi garder l'intérêt de préservation de la diversité génétique au centre de l'étude. Il en est ressorti que par l'observation visuelle ampélographique, même les groupes des clones 327 et 214 n'ont pas été identifiés. Cela témoigne d'une part qu'il existe une diversité intra-variétale [33] mais aussi intra-clonale et d'autre part que les critères ampélographiques sélectionnés n'ont pas été assez puissant et clivant pour identifier des groupes de clones. Ainsi, les potentiels groupes qui se détachent ne sont pas interprétables car nous ne pouvons pas dire que ce sont des individus identiques, c'est-à-dire des clones. Alors, il a été mis en place en collaboration avec le pôle R&D des pépinières Mercier, une recherche sur l'identification des clones par séquençage génétique et recherche de marqueur génétique. Cependant, la littérature à ce sujet est inexistante. En effet, seul l'identification de cépage est possible.

Concernant l'étude agronomique, l'objectif était d'identifier des individus présentant les caractères adapté aux enjeux climatiques, économiques et en adéquation avec le marché ciblé. De par la non répétition des mesures pour chaque individu, il est peu rigoureux de conclure sur la capacité agronomique de chaque pied de massale bien que certaines observations soient intéressantes d'interpréter. En effet, nous avons tout d'abord pu écarter les individus 40-48R et 46-14R présentant de la coulure. De plus, nous avons classé en 5 groupes les individus selon leurs capacités agronomiques au cours du millésime 2022. Trois groupes présentent des caractères intéressants pour la production de vin rouge de garde et les prochaines observations lors des prochains millésimes permettra ou non de confirmer ce classement. En effet, les facteurs externes dont font partis les conditions météorologiques d'un millésime donné, ont pour conséquence la variabilité d'expression génétique de chaque individu. Ainsi, le classement réalisé n'est pas un outil transmis aux équipes techniques d'Angélus afin de choisir quel pied doit être sélectionné mais plutôt une indication pour la suite de cette étude.

Enfin, nous avons pu conclure qu'il existait certaines différences significatives entre les individus de massale et les clones agréés témoins au cours du millésime 2022.

2. Éléments limitant de la sélection massale.

Les facteurs limitant la qualité de la sélection massale doivent être identifiés pour améliorer l'étude et en prendre compte dans l'interprétation des résultats. Tout d'abord, le gel printanier qu'a subit le vignoble d'Angélus a pu impacter l'expression de certains individus. Il en est de même pour la sécheresse de cet été. Ces deux évènements marquants du millésime 2022 ont eu un impact sur la sélection. Ensuite, nous avons fait l'hypothèse que la pédologie des deux parcelles est homogène. En réalité, cette hypothèse devrait être vérifiée par de multiples sondages à la tarière. De plus, étant dans la première phase de la sélection massale, les données agronomiques sont essentiellement des observations retranscrites en notes ce qui réduit la précision des critères évalués. De plus, ayant qu'un individu par génotype selon l'hypothèse de départ qui

est que chaque individus sont différents et dont nous n'avons pas pu contredire avec les observations ampélographiques, la répétition des mesures n'a pas pu se faire. Ainsi, les individus intéressants ne sont pas forcément les pieds à sélectionner car ils répondent aux critères établis dans les conditions d'un seul millésime.

3. Aspect économique.

Bien que la sélection clonale privée soit un avantage pour la préservation de la diversité, l'amélioration de la qualité des vins et l'adaptation au changement climatique, cette sélection a un coût important. Le coût de la sélection clonale privée en comparaison avec une simple plantation de vigne de clones agréés [49]. La sélection massale ou clonale privée engendre un surcoût de 85 000€ pour le suivi agronomique et le coût des micro-vinifications peuvent s'ajouter pour atteindre plus de 115 000€. De plus, les viticulteurs qui plantent des vignes issus de sélection massale ne sont pas éligibles aux primes d'aides à la plantation de FranceAgriMer qui avoisine les 10 000€/ha.

II. Perspectives de la sélection massale.

1. Nouvelles variables.

Cette étude qui doit être répétée sur plusieurs années devrait être complétée par d'autres observations et analyses. D'abord, le poids de bois de taille est un bon indicateur de la vigueur de la vigne. Réalisée lors de la taille d'hiver, il est bien moins coûteux que le dosage de l'azote total dans le pétiole. Le poids des grappes à la vendange permettrait d'estimer plus précisément le rendement. Aussi, il serait intéressant de suivre la sensibilité au Botrytis plus précisément en étudiant l'évolution de la teneur en eau des pellicules, un indicateur de porosité en lien à l'AW [94]–[96]. Il suffit de peser les masses fraîches et masses sèches des lots de pellicules. De plus, cela pourrait être complété par des analyses de pénétrométrie qui évalue la fragilité de la pellicule, sensiblement corrélé aux contaminations [97]. Ensuite, il serait intéressant de mesurer la quantité de polyphénols dans les baies par le Multiplex®. Cette technologie non destructive permettrait de mesurer le potentiel œnologique de tous les individus. De plus, il serait intéressant d'étudier les esters et notamment le 2-hydroxy-4-méthylpentanoate d'éthyle qui en provoquant la diminution du seuil de perception des notes fruitées, agit comme un exhausteur des notes de fruits noirs et de fruits frais [98]. Enfin, des analyses de résistivité des sols nous permettraient de prendre en compte la variabilité intra-parcellaire dans la parcelle d'étude et aussi dans la parcelle de collection afin de positionner les placettes sur des zones homogènes.

2. Collection d'étude.

Pour la suite de cette sélection, il est préconisé de mettre en place une parcelle de collection d'étude afin d'y observer les individus sources en plusieurs exemplaires. Cependant, le sol de la parcelle de collection devra faire l'objet d'une étude par conductivité et sondage à la tarière afin de s'assurer de l'homogénéité du terroir. Il est préconisé de planter 25 à 50 pieds filles issus de l'individu source et de répéter sur 5 blocs minimum répartis dans la parcelle de façon à s'affranchir des petites hétérogénéités et sur un même porte-greffe. Ceci est répété pour chaque individu sélectionné et devront faire l'objet d'une rigoureuse traçabilité afin de continuer les observations par génotype et ainsi sélectionner au cours de l'étude, uniquement les clones d'intérêts. La répétition sur plusieurs années permet de lisser l'éventuel effet millésime sur l'expression de

chaque individu. De plus, les clones de Cabernet franc utilisés au Château Angélu, le 214 et le 327, pourront être plantés de la même façon dans le but de comparer leurs caractéristiques à la sélection massale dans les mêmes conditions culturales et climatiques. Il pourrait être intéressant de réaliser des répétitions avec plusieurs porte-greffes pour prendre en compte leurs interactions [99].

Concernant l'aspect sanitaire, des tests ELISA ont déjà été réalisés. La parcelle de la collection d'étude devra aussi faire l'objet d'une attention particulière avec un repos et d'une gestion de la jachère avec des plantes nématicides pour réduire les risques de contaminations par les viroses [100] si elle a un précédent de culture de la vigne. Ensuite, la collection d'étude fera l'objet de test sanitaire pour la pérennité de la collection.

CONCLUSION GÉNÉRALE

De par son implantation dans une région viticole de renom, le Château Angélu a tout pour produire un grand vin de qualité. En effet, les cadres géologique et climatique fournissent des conditions idéales pour cultiver la vigne et obtenir des raisins de qualité. De plus, aidé par l'implication des collaborateurs, le Château produit des cuvées dignes du vignoble bordelais. Cependant pour continuer à innover et faire face aux aléas climatiques, le Château est en perpétuelle quête d'évolution et d'amélioration. La volonté de satisfaire au mieux les clients et répondre aux demandes des consommateurs permet de garder un chiffre d'affaire très satisfaisant. La famille De Boüard souhaite maintenir son prestige et son rayonnement à l'international, c'est ce pourquoi ils investissent toujours plus pour renouveler leur vignoble et attirer de nouveaux consommateurs avec d'autres gammes.

La sélection au sein de la diversité des vieilles parcelles souhaite contribuer à l'amélioration des vins mais aussi répondre aux objectifs de production des grands crus et aux problèmes de réduction d'utilisation de produits phytosanitaires. Les données recueillies permettent un suivi précis de la vigne tout au long de son cycle végétatif et évaluent le potentiel de chaque individu. Il a mis aussi en évidence une variabilité intervariétale qui peut être aussi liée au terroir de la zone d'étude légèrement hétérogène. De plus, l'effet millésime joue un rôle dans l'expression phénotypique des individus, la validité des résultats doit donc être constatée par la répétition de l'étude. Aussi, la méthode présentée dans ce mémoire est perfectible. D'autres variables agronomiques permettraient notamment un suivi plus précis du potentiel agronomique et organoleptique de chaque pied. Il serait aussi intéressant d'améliorer l'étude œnologique avec un suivi plus poussé et précis des composés chimiques de chaque individu séparément.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. Cusin, E. Loubaresse, et S. Charreire Petit, « Analyse d'une dynamique de coopération conflictuelle : l'affaire du classement 2006 des vins de l'AOC Saint-Émilion », *Rev. Int. PME*, vol. 26, n° 2, Art. n° 2, 2013, doi: 10.7202/1024323ar.
- [2] G. Lepré, *Le Grand Larousse des vins.*, 2018^e éd.
- [3] C. Van Leeuwen, *Carte des sols du vignoble de Saint-Émilion*. Bordeaux (France): Syndicat viticole de Saint-Émilion, 1989.
- [4] « Cahier des Charges Saint-Emilion ». 22 novembre 2017.
- [5] « Cahier des Charges Côtes de Bordeaux ». 26 novembre 2017.
- [6] *Marché des vins de Bordeaux: commercialisation*. Bordeaux: CIVB, 2011.
- [7] O. Laporte, « La commercialisation des vins de Bordeaux par le négoce girondin », Sciences Agro, Bordeaux, 1971.
- [8] P. Roudié, « Les appellations du vignoble bordelais », *Rev. Géographique Pyrén. Sud-Ouest Sud-Ouest Eur.*, vol. 39, n° 1, p. 5-34, 1968, doi: 10.3406/rgpso.1968.2244.
- [9] F. Niedercorn, « Un euro le litre: le vrac s'effondre », *Les Echos*, Paris, 2020.
- [10] A. J. Winkler, *General Viticulture*. University of California Press, 1974.
- [11] M. Dobrijevic et M. Lendrin, « L'évolution du climat à Bordeaux entre 1921 et 2018 », 2019. doi: 10.13140/RG.2.2.26135.11683.
- [12] N. Ollat *et al.*, « Adaptation to climate change : which are the main challenges for the French wine industry? », in *36. South African Conference on Enology and Viticulture*, CapTown, South Africa, nov. 2014.
- [13] C. Van Leeuwen et P. Darriet, « The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality », *J. Wine Econ.*, vol. 11, n° 1, p. 150-167, 2016, doi: 10.1017/jwe.2015.21.
- [14] E. E. Giraud-Heraud, A. F. Espinoza, A. Pérès, A. Pons, S. Tempere, et P. Darriet, « Comment sont appréciés par les consommateurs les vins issus du changement climatique? », *Rev. Œnol.*, n° 158, 2016.
- [15] R. S. Jackson, *Wine Science: Principles and Applications*. Academic Press, 2008.
- [16] P. Darriet, A. Pons, L. Allamy, A. Schüttler, C. Van Leeuwen, et C. Thibon, « Quels impacts attendus du changement climatique sur les composés aromatiques et leurs précurseurs? », présenté à Assises des Vins du Sud-ouest, 2016, p. 32. Consulté le: 21 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.inrae.fr/hal-02744085>
- [17] J. Barthélemy, « L'influence du critique américain Robert Parker dans l'univers du vignoble bordelais: », *Ann. Mines - Gérer Compr.*, vol. N° 101, n° 3, p. 60-71, sept. 2010, doi: 10.3917/geco.101.0060.
- [18] « Château Angélys », *La Revue du vin de France*. <https://www.larvf.com/,chateau-angelus,10502,400047.asp> (consulté le 20 août 2022).
- [19] *Les cépages en Aquitaine*. Bordeaux: Chambre d'agriculture, 2001.
- [20] P. Hinrichsen *et al.*, « Distinguishing Carmenère from Similar Cultivars by DNA Typing », *Am. J. Enol. Vitic.*, vol. 52, n° 4, p. 396-399, janv. 2001, doi: 10.5344/ajev.2001.52.4.396.
- [21] Y. Kotseridis, « Etude de l'arôme des vins de merlot et de cabernet sauvignon de la région bordelaise », Thèse de doctorat, Bordeaux 2, 1999.
- [22] B. Pineau, J.-C. Barbe, C. van Leeuwen, D. Dubourdieu, et P. Darriet, « Spécificité aromatique des vins rouges de Bordeaux. Étude de leurs nuances de fruits rouges et fruits noirs », *Rev. Oenologues Tech. Vitivinic. Oenologiques*, vol. 44, p. 15, 2010.
- [23] Comité technique permanent de la sélection des plantes cultivées, *Catalogue des variétés et clones de vigne cultivés en France*, 2e édition. Paris (France): Institut français de la vigne et du vin, ENTAV-ITV France, 2007.
- [24] C. Dumas et A. Crespy, « Le surgreffage de la vigne. Une technique éprouvée et rentable pour s'adapter à la conjoncture économique ou aux impératifs techniques », *Rev. Oenologues Tech. Vitivinic. Oenologiques Mag. Trimest. Inf. Prof.*, vol. 34, n° 122, p. 43-45, 2007.

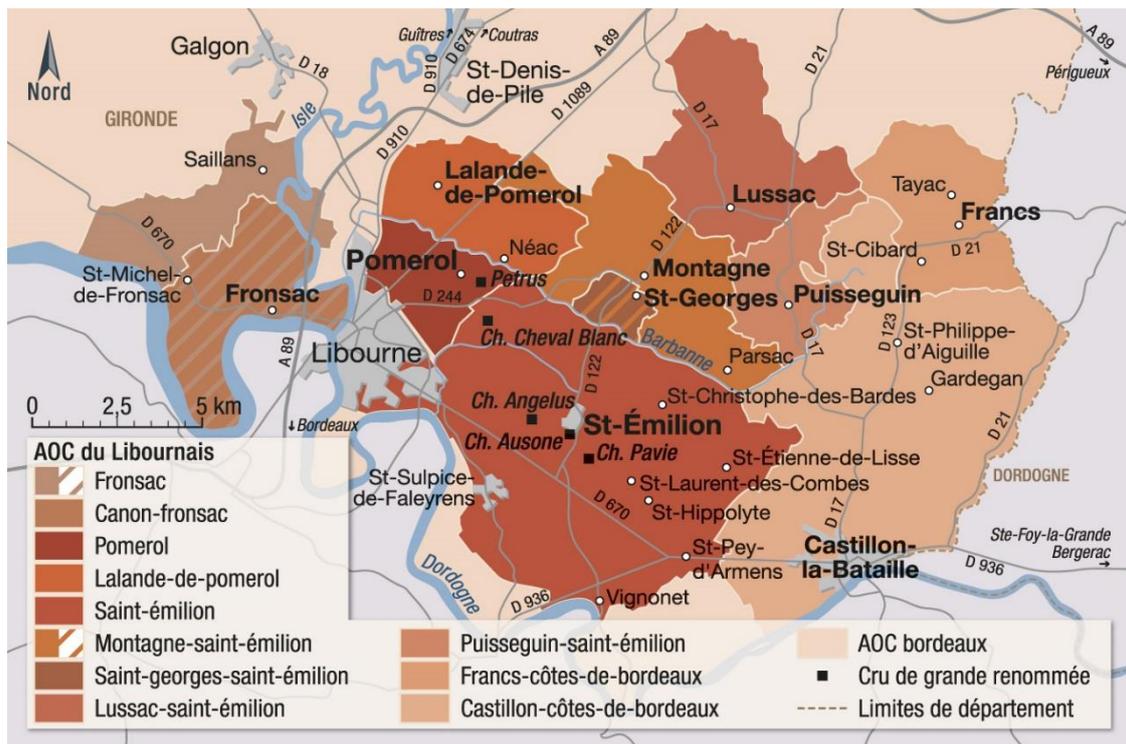
- [25] W. J. Conradie et V. Bonnardot, « Effects of soil and climate on wine style in the breede river valley of South Africa : Sauvignon Blanc and Cabernet Sauvignon ».
- [26] C. Van Leeuwen et J.-P. Roby, « Choix du porte-greffe », *Vigne Vin Publ. Int.*, vol. 35, p. 61-66, janv. 2001.
- [27] R. L. Roux *et al.*, « Analyse multiscalaire de la variabilité spatiale et temporelle des températures à l'échelle des appellations viticoles de saint-émilion, pomerol et leurs satellites », *Climatologie*, vol. 14, p. 1-17, 2017, doi: 10.4267/climatologie.1243.
- [28] F. Larue, C. Geneix, S. Lafon-Lafourcade, A. Bertrand, et P. Ribéreau-Gayon, « Premières observations sur le mode d'action des écorces de levure », *OENO One*, vol. 18, p. 155, sept. 1984, doi: 10.20870/oeno-one.1984.18.3.1752.
- [29] M. Bély, « Détection automatique et correction des carences en azote assimilable des fermentations alcooliques en conditions œnologiques : étude cinétique et approche physiologique », Thèse de doctorat, Montpellier 2, 1990. Consulté le: 22 novembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/1990MON20292>
- [30] J.-M. Sablayrolles, J.-R. Mouret, et A. Ortiz-Julien, « Maitrise des intrants lors de la fermentation œnologique », in *SITEVI*, Montpellier, France, nov. 2015, p. np.
- [31] A. L. Floch, « Les polysaccharides et les ellagitannins du bois de chêne : influence sur la qualité sensorielle des vins », Thèse, Université de Bordeaux, 2015.
- [32] D. Forget, M. C. Dufour, et T. Lusseau, « Bilan et perspectives pour la sélection clonale des principaux cépages du bordelais », *Prog. Agric. Vitic.*, vol. 119, n° 9, p. 199, 2002.
- [33] S. Hocquigny, « La diversité génétique intra-variétale chez la vigne : Caractérisation et origines », Thèse, Strasbourg 1, 2003. Consulté le: 26 février 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2003STR13086>
- [34] P. J. P. Legros, « L'Invasion du vignoble par le Phylloxéra », 1993.
- [35] R. Pouget, « Histoire de la lutte contre le phylloxera de la vigne en France », *Agric. Hist.*, vol. 65, n° 3, p. 106-109, 1990.
- [36] F. Delmotte, F. Fabre, A.-S. Micolot, M. Paineau, C. Schneider, et L. Deliere, « Des vignes, des invasions et des résistances », in *L'immunité des plantes. Pour des cultures résistantes aux maladies*, Quae., 2021.
- [37] T. Lacombe, « Contribution à l'étude de l'histoire évolutive de la vigne cultivée (*Vitis vinifera*) par l'analyse de la diversité génétique neutre et de gènes d'intérêt », Thèse de doctorat, Institut National d'Etudes Supérieures Agronomiques de Montpellier, 2012. Consulté le: 10 octobre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.inrae.fr/tel-02811247>
- [38] E. Vigne, A. Marmonier, V. Komar, G. Demangeat, et O. O. Lemaire, « Efficacité de la prémunition pour lutter contre le Grapevine fanleaf virus et impact sur la structure génétique de populations virales », présenté à Rencontres de Virologie Végétale, Aussois (France), janv. 2009.
- [39] S. Atallah, M. Gomez, M. Fuchs, et T. Martinson, « Economic Impact of Grapevine Leafroll Disease on *Vitis vinifera* cv. Cabernet franc in Finger Lakes Vineyards of New York », *Am. J. Enol. Vitic.*, vol. 63, p. 73-79, mars 2012, doi: 10.5344/ajev.2011.11055.
- [40] O. Yobrégat, C. Séréno, L. Audeguin, T. Lacombe, B. Chatelet, et J.-M. Boursiquot, « Conservation de la diversité intravariétale de la vigne en France : inventaire exhaustif et perspectives », *Prog. Agric. Vitic.*, n° 10, p. 221-230, 2012.
- [41] L. Audeguin, C. Sereno, et O. Yobrégat, « Variétés de vigne de demain : évolutions attendues, attentes professionnelles et sociétales, challenges », in *38th World Congress of Vine and Wine (Part 2)*, 2015, vol. 5, p. 05002. doi: 10.1051/oivconf/201505002.
- [42] B. Walter, A. Vuittenez, J. Kuszala, G. Stocky, J. Burckard, et M. van Regenmortel, « Detection serologique des virus du court-noue de la vigne par le test ELISA », *Agronomie*, vol. 4, n° 6, p. 527, 1984.

- [43] K.-S. Ling, H.-Y. Zhu, N. Petrovic, et D. Gonsalves, « Comparative Effectiveness of ELISA and RT-PCR for Detecting Grapevine Leafroll-Associated Closterovirus-3 in Field Samples », *Am. J. Enol. Vitic.*, vol. 52, n° 1, p. 21-27, janv. 2001, doi: 10.5344/ajev.2001.52.1.21.
- [44] J.-M. Boursiquot *et al.*, « Parentage of Merlot and related winegrape cultivars of southwestern France: discovery of the missing link », *Aust. J. Grape Wine Res.*, vol. 15, n° 2, p. 144-155, 2009, doi: 10.1111/j.1755-0238.2008.00041.x.
- [45] G. Lavignac et A. Audiot, *Cépages du Sud-Ouest: 2000 ans d'histoire. Mémoires d'un ampélographe*. Quae, 2001.
- [46] L. Levadoux, « Les populations sauvages et cultivées de *Vitis vinifera* », 1956.
- [47] J. E. Bowers et C. P. Meredith, « The parentage of a classic wine grape, Cabernet Sauvignon », *Nat. Genet.*, vol. 16, n° 1, p. 84-87, mai 1997, doi: 10.1038/ng0597-84.
- [48] A. Reynier, *Manuel de viticulture: Guide technique du viticulteur*. Lavoisier, 2011.
- [49] J.-P. Roby, C. van Leeuwen, E. Gonçalves, A. Graça, et A. Martins, « The preservation of genetic resources of the vine requires cohabitation between institutional clonal selection, mass selection and private clonal selection », *BIO Web Conf.*, vol. 3, p. 01018, 2014, doi: 10.1051/bioconf/20140301018.
- [50] R. Bessis, J. M. Desperrier, J. M. Menant, et D. Sauvage, « Biodiversité de la vigne. Localisation et accessibilité », *Bull. OIV*, n° 585, p. 895-896, 2005.
- [51] A. Lusson, « Sélection massale : mode opératoire. », *Union Girondine*, p. 5, 2014.
- [52] J.-P. Roby, L. Bordenave, E. E. Marguerit, et C. van Leeuwen, « Le matériel végétal viticole. Etat des lieux et perspectives d'avenir », présenté à Congrès International des Terroirs Viticoles, 2006. Consulté le: 2 avril 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.inrae.fr/hal-02753062>
- [53] F. Legouy et S. Boulanger, *Atlas de la vigne et du vin*. Armand Colin, 2015.
- [54] « Sélections Massales Privées et Rapides. Rencontres nationales des Vignerons Indépendants », *Pépinière Mercier*, 2012. <https://docplayer.fr/amp/21912524-Selections-massales-privées-et-rapides.html> (consulté le 20 avril 2022).
- [55] O. Yobrégat, L. Audeguin, S. Dedet-Lalet, T. Lacombe, et J.-M. Boursiquot, « Expression différentielle des symptômes de la virose du court-noué chez *Vitis vinifera*: revue bibliographique, observations de terrain et notations en collection ». 15 octobre 2020. Consulté le: 20 avril 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.inrae.fr/hal-02968537>
- [56] G. Barbeau, M. Cousin, A. Blin, J. P. Panneau, M. H. Bouvet, et A. Mège, « Méthodologie de sélection clonale chez la vigne (*Vitis vinifera*). Prise en compte de la précocité du cycle et de l'interaction clone et terroir », *Bull. OIV*, vol. 72, n° 825-826, p. 731-751, 1999.
- [57] R. Geoffrion, « Eau chaude contre phytoplasmes. La thérapie contre la Flavescence dorée et le Bois noir en Anjou », *Phytoma Def. Veg.*, 1998.
- [58] C. Linder, L. Schaub, et F. Klötzli-Estermann, « Efficacité du traitement à l'eau chaude contre les oeufs de *Scaphoideus titanus*, vecteur de la flavescence dorée de la vigne », *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.*, vol. 42, n° 2, p. 132-135, avr. 2010.
- [59] L. Papy, « Le vignoble de Bordeaux et son climat », *Ann. Midi*, vol. 78, n° 77, p. 191-199, 1966, doi: 10.3406/anami.1966.5034.
- [60] D. Plénet et C. Lavigne, « Accompagner la réduction d'usage des produits phytopharmaceutiques en France : le réseau DEPHY Écophyto », présenté à Journée Pôle Production Horticole Intégrée, sept. 2013, p. 23 p.
- [59] O. Planchon, V. Dubreuil, J. Oszwald, et H. Quénot, « Variabilité et scénarios de changement climatique dans les régions viticoles de France centrale. » Actes du XXVIIème colloque de l'AIC, Dijon (France), 739-745., 2014.
- [62] R. Mira de Orduña, « Climate change associated effects on grape and wine quality and production », *Food Res. Int.*, vol. 43, n° 7, p. 1844-1855, août 2010, doi: 10.1016/j.foodres.2010.05.001.

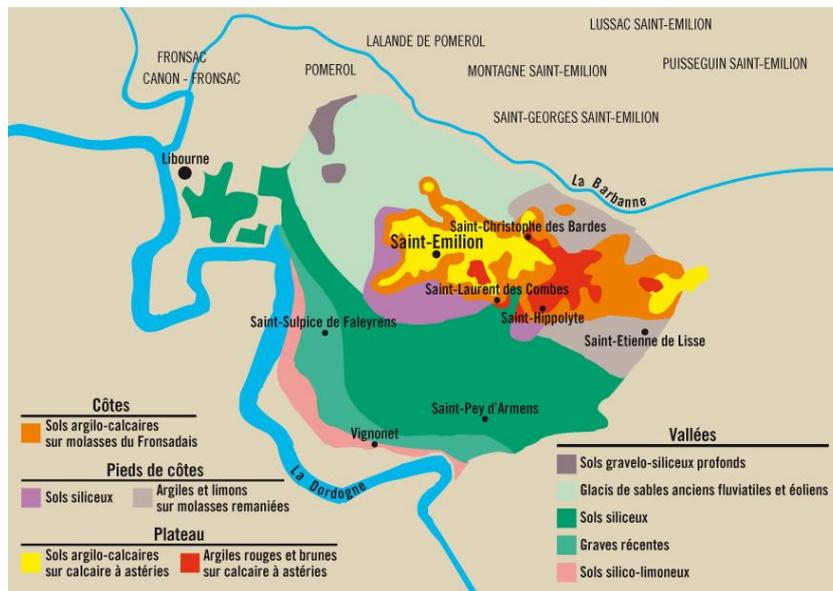
- [63] E. Neethling, G. Barbeau, H. Quenol, et C. Bonnefoy, « Évolution du climat et de la composition des raisins des principaux cépages cultivés dans le Val de Loire », *Climatologie*, vol. 8, p. 79-92, 2011, doi: 10.4267/climatologie.323.
- [64] R. Bessis, « L'homme et la vigne : biodiversité au niveau intra-variétal », *Rev Sci Bourgogne-Nat.*, vol. 19, p. 143-150, 2014.
- [65] C. Van Leeuwen et P. Darriet, « Le changement climatique en viticulture: les leviers d'adaptation au vignoble ».
- [66] A. Destrac *et al.*, « Projet VitAdapt : exploiter la diversité des cépages comme moyen d'adaptation au changement climatique », *Union Girondine Vins Bordx.*, n° 1156, p. 47-50, 2018.
- [67] A. Destrac-Irvine *et al.*, « La diversité des cépages est une puissante ressource d'adaptation au changement climatique », *Rev. Fr. Oenologie*, p. 16-21, 2020.
- [68] G. Barbeau, R. Morlat, C. Asselin, A. Jacquet, et C. Pinard, « Comportement du cépage Cabernet franc dans différents terroirs du Val de Loire. Incidence de la précocité sur la composition de la vendange en année climatique normale (exemple de 1988) », *J Int Sci Vigne Vin*, n° 32, p. 69-81, 1998.
- [69] C. Van Leeuwen, J.-P. Gaudillère, et O. Trégoat, « The assessment of vine water uptake conditions by ¹³C/¹²C discrimination in grape sugar », *J. Int. Sci. Vigne Vin*, vol. 35, p. 195-205, oct. 2001, doi: 10.20870/oeno-one.2001.35.4.984.
- [70] C. Van Leeuwen et P. Vivin, « Alimentation hydrique de la vigne et qualité des raisins », *Innov. Agron.*, vol. 2, p. 159, 2008.
- [71] N. Ollat *et al.*, « La vigueur conférée par le porte-greffe: hypothèses et pistes de recherches », *Bull. OIV*, n° 869-870, p. 581, 2003.
- [72] F. Morel, *Pierre Galet : l'ampélographie de terrain*. Paris (France): Sang de la Terre, 2013.
- [73] P. Galet, *Précis d'ampélographie pratique: porte-greffe, cépages de cuve, raisins de table*, 3^e éd.. S.l., 1971.
- [74] M. Fermaud, G. Froidefond, J. M. Liminana, et P. Pieri, « Precursory indices of Botrytis rot development in mature grapes », in *Progrès Agricole et Viticole (France)*, Bordeaux (France), 2002.
- [75] M. Fermaud, P. Pieri, et J. M. Liminana, « Botrytis and micro-climates. Propagation of Botrytis cinerea in grapes in controlled climatic conditions », *Phytoma Déf. Végétaux Fr.*, 2001.
- [76] K. M. D'Amico-Willman, E. S. Anderson, T. M. Gradziel, et J. Fresnedo-Ramírez, « Relative Telomere Length and Telomerase Reverse Transcriptase (TERT) Expression Are Associated with Age in Almond (*Prunus dulcis*) », *Plants Basel Switz.*, vol. 10, n° 2, p. 189, 2021, doi: 10.3390/plants10020189.
- [77] C. Van Leeuwen et P. Friant, « Les méthodes d'estimation de l'alimentation azotée de la vigne et des raisins au vignoble: état de l'art », 2011.
- [78] A. Jaquinet, « Une méthode de contrôle de la vigueur et de la croissance de la vigne », *VITIS - J. Grapevine Res.*, vol. 12, n° 4, Art. n° 4, 1973, doi: 10.5073/vitis.1973.12.291-298.
- [79] P. R. Dry, M. I. Longbottom, S. Mcloughlin, T. e. Johnson, et C. Collins, « Classification of reproductive performance of ten winegrape varieties », *Aust. J. Grape Wine Res.*, vol. 16, n° s1, p. 47-55, 2010, doi: 10.1111/j.1755-0238.2009.00085.x.
- [80] C. Collins et P. R. Dry, « Response of fruitset and other yield components to shoot topping and 2-chlorethyltrimethyl-ammonium chloride application », *Aust. J. Grape Wine Res.*, vol. 15, n° 3, p. 256-267, 2009, doi: 10.1111/j.1755-0238.2009.00063.x.
- [81] E. Serrano, S. Roussel, L. Gontier, et E. T. Dufourcq, « Estimation précoce du rendement de la vigne : corrélation entre le volume de la grappe de *Vitis vinifera* en cours de croissance et son poids à la récolte », 2007.
- [82] M. Fermaud, « Cultivar Susceptibility of Grape Berry Clusters to Larvae of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) », *J. Econ. Entomol.*, vol. 91, n° 4, p. 974-980, août 1998, doi: 10.1093/jee/91.4.974.

- [83] H. Ojeda et N. Saurin, « L'irrigation de précision de la vigne : méthodes, outils et stratégies pour maximiser la qualité et les rendements de la vendange en économisant de l'eau », *Innov. Agron.*, vol. 38, p. 97, 2014.
- [84] I. Zouid, R. Siret, E. Mehinagic, C. Maury, et F. Jourjon, « Influence des propriétés mécaniques des baies de Cabernet Franc sur l'évolution et l'extractibilité des anthocyanes », *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.*, vol. 42, p. 360-366, 2010.
- [85] M. Ferrer, G. Gonzalez-Neves, G. Echeverria, et A. Carbonneau, « Correspondance entre la taille de la baie et le potentiel oenologique du raisin », présenté à Proceedings 18th International Symposium GiESCO, janv. 2013, p. 787.
- [86] N. Vivas, N. De Gaulejac, et M. F. Nonier, « Sur l'estimation et la quantification des composés phénoliques des vins. », *Bull. OIV*, vol. 76, n° 865-66, p. 281-303, 2003.
- [87] H. Kelebek, A. Canbas, M. Jourdes, et P.-L. Teissedre, « HPLC-DAD-MS Determination of Colored and Colorless Phenolic Compounds in Kalecik Karasi Wines: Effect of Different Vineyard Locations », *Anal. Lett.*, vol. 44, n° 6, p. 991-1008, 2011, doi: 10.1080/00032719.2010.506937.
- [88] J. Rousseau et D. Delteil, « Présentation d'une méthode d'analyse sensorielle des raisins. Principe, méthode et grille d'interprétation », *Union Oenologues Fr.*, n° 183, p. 10-13, 2000.
- [89] F. Depledt et Société scientifique d'hygiène alimentaire, *Évaluation sensorielle: manuel méthodologique*, 3e édition revue et Augmentée. Paris (France): Éd. Tec & Doc, 2009.
- [90] B. Ailloud et A. Douziech, « Analyse sensorielle : rigueur scientifique appliquée à l'évaluation des essais », *Rhône En VO*, n° N°7, p. 94-100, 2013.
- [91] G. Saporta et N. Niang, « Analyse en composantes principales », p. 25.
- [92] L. Judez, J. Litago, J. Yuste, A. Soldevilla, et F. Martinez, « Une procédure statistique pour orienter les premières étapes de sélection clonale de la variété Tinta del País », *J. Int. Sci. Vigne Vin*, vol. 29, n° 4, p. 183-191, 1995.
- [93] J.-P. Benzécri, « Construction d'une classification ascendante hiérarchique par la recherche en chaîne des voisins réciproques », *Cah. Anal. Données*, vol. 7, n° 2, p. 209-218, 1982.
- [94] C. Deytieux-Belleau, L. Geny, J. Roudet, V. Mayet, B. Donèche, et M. Fermaud, « Grape berry skin features related to ontogenic resistance to Botrytis cinerea », *Eur. J. Plant Pathol.*, vol. 125, n° 4, p. 551, juill. 2009, doi: 10.1007/s10658-009-9503-6.
- [95] M. Fermaud, C. Deytieux-Belleau, J. Roudet, G. Darrieutort, et L. Geny, « Water activity at the fruit surface : a potential indicator of grape berry susceptibility to Botrytis cinerea », *IOBC WPRS Bull*, vol. 67, p. 155-161, 2011.
- [96] G. E. Martins, C. Casini, J.-P. D. Costa, L. Geny, A. Lonvaud, et I. Masneuf-Pomarède, « Correlation between water activity (aw) and microbial epiphytic communities associated with grapes berries », *OENO One*, vol. 54, n° 1, Art. n° 1, févr. 2020, doi: 10.20870/oeno-one.2020.54.1.2435.
- [97] M. André, « Evaluation de la fragilité de la pellicule de raisin dans le contexte champenois », Thèse de doctorat, Bordeaux, 2021. Consulté le: 27 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2021BORD0360>
- [98] G. Lytra, « Importance des interactions perceptives dans l'expression de l'arôme fruité typique des vins rouges », phdthesis, Université de Bordeaux Ségalen (Bordeaux 2), 2012. Consulté le: 27 novembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.inrae.fr/tel-02805765>
- [99] E. Marguerit, « Déterminisme génétique des réponses au déficit hydrique de la transpiration et de la croissance, induites par le porte-greffe, chez la vigne : approche intégrée de génétique quantitative et d'écophysiologie », These de doctorat, Bordeaux 2, 2010. Consulté le: 27 septembre 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2010BOR21777>
- [100] C. Laveau et M. van Helden, « Une lutte biologique contre le court-noué de la vigne. », *Union Girondine Vins Bordx.*, n° de Janvier, p. 33-35, 2013.

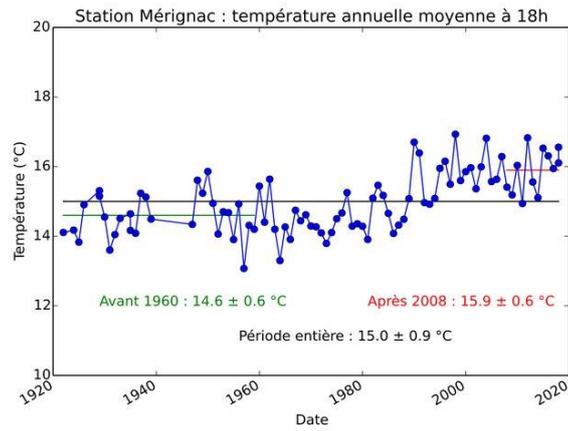
ANNEXES



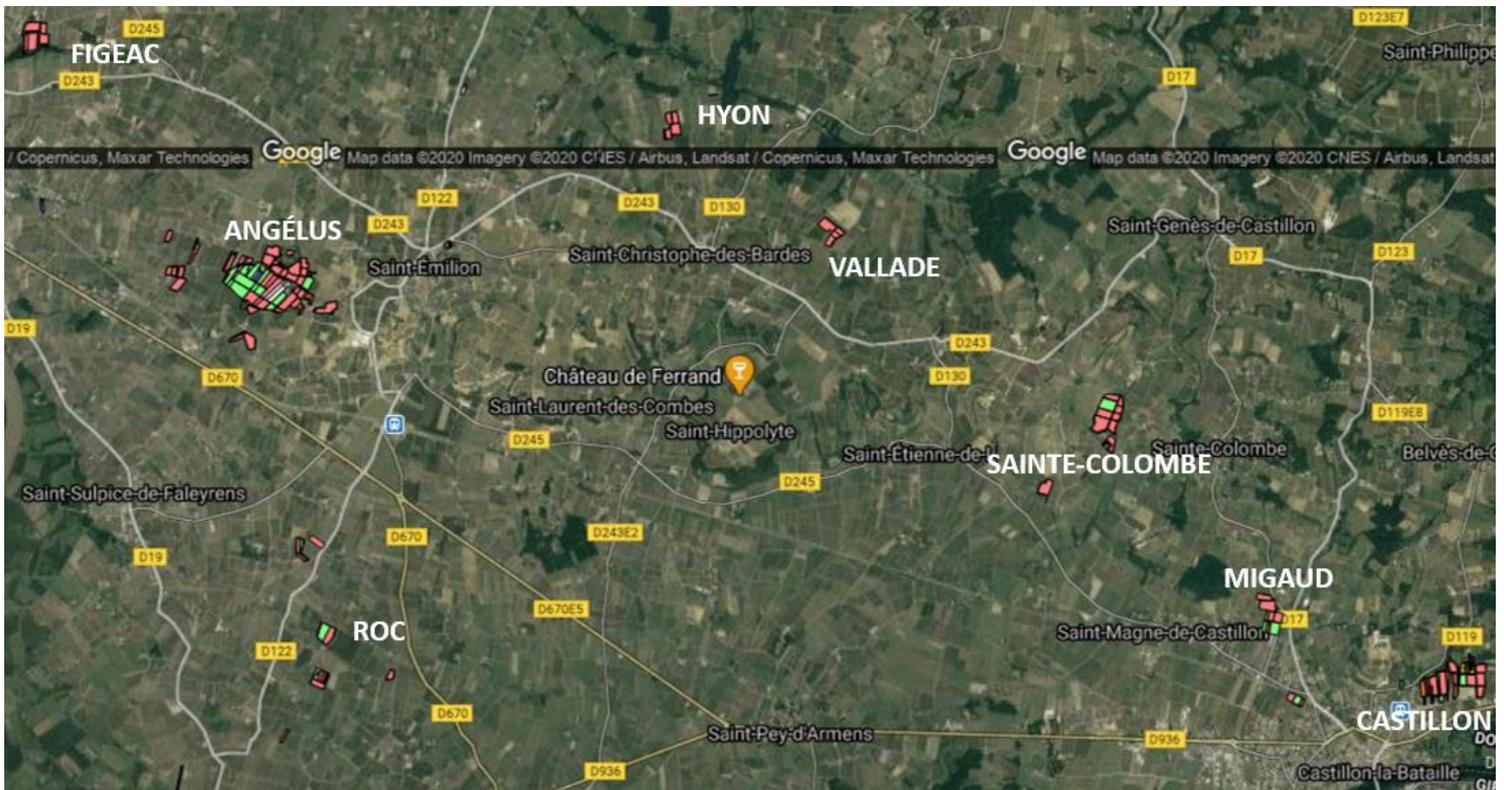
Annexe 1 : Carte des AOC du Libournais (Hachette Vin).



Annexe 2 : Carte des sols du vignoble de Saint-Émilion (Syndicat Viticole de Saint-Émilion).



Annexe 3 : Evolution de la température moyenne annuelle (mesures prises tous les jours à 18h) en fonction de l'année [11].



Annexe 4 : Parcellaire du Château Angélus. Rouge : Merlot ; Vert : Cabernet franc ; Bleu : Petit Verdot.

Année (du 1/09 au 31/08)	Chiffre d'affaires
2019	24 423 631 €
2020	13 672 000 €
2021	19 442 400 €

Annexe 5 : Chiffre d'affaires du Château Angélus pour les années comptables 2019, 2020 et 2021.

Griffage du sol + semis (novembre) :
Vitesse de travail : 6-7 km/h - 4,5 km/h

Écimage (mai) :
Vitesse de travail : 9 km/h

Amendement (mars) :
Vitesse de travail : 5-10 km/h

Traitement (avril - juillet) :
Vitesse de travail : 6 km/h

Novembre – Décembre – Janvier – Février – Mars – Avril – Mai – Juin – Juillet – Août – Septembre – Octobre

Buttage (novembre) :
Vitesse de travail : 3-5 km/h

Décavaillonnage (mars) :
Vitesse de travail : 2,5 -3 km/h

Vendanges (septembre – octobre) :
à définir

Amendement (novembre) :
Vitesse de travail : 5-10 km/h

Rognage (mai – juillet) :
Vitesse de travail : 9 km/h

Tonte – Désherbage mécanique (mai – août) :
Vitesse de travail : 4,5 – 6 km/h

Annexe 6 : Vitesse de travail des travaux mécaniques.

Taille (décembre – février) :
10 h/1000 pieds
150 €/1000 pieds

Levage et Relevage
(mai – juillet) :
8 h/1000 pieds
180 €/1000 pieds

Carassonnage (mars) :
3 h/1000 pieds
70 €/1000 pieds

Éclaircissage (août) :
2 h/1000 pieds
50 €/1000 pieds

Novembre – Décembre – Janvier – Février – Mars – Avril – Mai – Juin – Juillet – Août – Septembre – Octobre

Tirage des bois
(janvier – mars) :
2 h/1000 pieds
50 €/1000 pieds

**Épamprage et
Dédoublage** (mai –
juin) :
8,5 h/1000 pieds
195 €/1000 pieds

Vendanges
(septembre – octobre) :
à définir

Effeillage : (juin – août) :
12 h/1000 pieds
280 €/1000 pieds

Annexe 7 : Temps et coût des travaux manuels au Château Angélys.



PRÉLÈVEMENT PETIOLAIRE SUR VIGNE

MODE OPERATOIRE

Prélever une cinquantaine de pétioles en veillant à constituer l'échantillon à partir de souches d'un même assemblage cépage-porte-greffe.

NB : le pétiole doit être immédiatement séparé du limbe.

A l'échelle de la parcelle :

- Choisir 5 à 10 rangs dans une zone homogène et représentative du comportement général de la parcelle (dans la même zone que l'échantillon de terre).

- Les prélèvements et les contrôles ultérieurs devront être effectués sur cette même zone, en particulier dans le cadre du contrat sol-plante.

- Prélever sur 5 souches minimum par rang.

Sur chaque souche retenue :

- Prélever la feuille à l'opposé d'une grappe (grappe inférieure).

N.B. : si le diagnostic pétioleaire est destiné à préciser les causes d'une anomalie locale de comportement de la culture, réaliser 2 échantillons sur le même assemblage, dans la zone saine et dans la zone affectée d'une anomalie. Ce protocole est obligatoire si l'on se situe hors stade véraison.

PRECAUTIONS

> Ne pas échantillonner de plantes blessées, nécrosées ou desséchées même partiellement.

> Éviter les souillures par la terre et toutes autres contaminations (utiliser des outils coupants en inox).

> Ne pas prélever après des apports d'engrais foliaires ou produits phyto contenant des oligo-éléments lorsque ceux-ci doivent être déterminés.



PERIODE

Au stade véraison :

repérable par le changement de couleur des baies.

Ce stade peut être, sans incidence notable, légèrement dépassé.

CONDITIONNEMENT & ACHÈMINEMENT

Remplir correctement et lisiblement la fiche de renseignements accompagnant chaque échantillon

(bien préciser la date du prélèvement). Les possibilités d'interprétation et la qualité de cette dernière dépendent de la précision des renseignements fournis sur la fiche.

Veiller à bien référencer de la même façon le sachet et la fiche.

Mettre les pétioles prélevés dans une grande enveloppe kraft.

IMPORTANT : il est recommandé de prélever simultanément un échantillon de terre ou de joindre les résultats de l'analyse de terre déjà réalisée, afin de permettre l'interprétation la plus pertinente possible.