



HAL
open science

Présentation des vinifications à Château Margaux – Millésime 2022

Alexandre Serp

► **To cite this version:**

Alexandre Serp. Présentation des vinifications à Château Margaux – Millésime 2022. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04560762

HAL Id: dumas-04560762

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04560762>

Submitted on 3 May 2024

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

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

Mémoire de fin d'études

Présenté dans le cadre de l'obtention du Diplôme National d'Œnologue



Présentation des vinifications à Château Margaux – Millésime 2022

Par Alexandre SERP

Organisme d'accueil : Château Margaux

Année de soutenance : 2023



Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du Diplôme National d'œnologie

Présentation des vinifications à Château Margaux – Millésime 2022



Par Alexandre SERP

Année de soutenance : 2023

Mémoire préparé sous la direction de M. Didier OLLÉ

Présenté le 30/06/2023 devant le jury composé de

Mme Aurélie ROLAND

M. Didier OLLÉ

Organisme d'accueil : Château Margaux

Maître de stage : Mme Blandine de ROUFFIGNAC

RÉSUMÉ

Mots clés : Vinification, Margaux, Médoc, œnologie, itinéraire de vinification.

Les vins du Médoc et de l'appellation Margaux sont reconnus dans le monde entier. Château Margaux, 1^{er} Grand Cru Classé, se veut à la fois garant d'une tradition tout en étant à la pointe des dernières innovations viticoles et œnologiques.

La culture de la vigne ainsi que l'ensemble des processus de vendange et de vinifications sont suivis avec minutie par l'ensemble des équipes de la propriété qui mettent tout en œuvre pour obtenir un vin d'exception.

Le domaine produit à la fois une gamme composée de plusieurs vins rouges, dont le grand vin, ainsi qu'un vin blanc. Chaque processus de vinification possède ses spécificités et ses méthodes.

Le millésime 2022 fut riche de nombreux défis, avec les gelées au début du mois d'avril suivies d'un été sec et particulièrement chaud.

Lors de ce millésime, une étude portant sur le R-Pulse en comparaison des remontages traditionnels a été réalisée.

Pour citer ce document : Serp Alexandre, 2023. Présentation des vinifications à Château Margaux – Millésime 2022. Mémoire de fin d'étude, Diplôme National d'œnologie, l'Institut Agro Montpellier. 84 pages

ABSTRACT

Title: Presentation of the vinification process at Château Margaux – Vintage 2022

Key Words: Winemaking, Margaux, Médoc, oenology, vinification itinerary

Wines made in the Médoc region and having the designation ‘Margaux’ are famous around the world. Château Margaux –1st ranked Grand Cru – is the guarantor of a tradition while being at the peak of the last innovations in winegrowing and oenology.

The culture of grapevines as well as the entirety of the processes of harvest and vinification are minutely observed by all the teams on the estate who go above and beyond to obtain an exceptional wine.

The wine estate produces an array of multiple red wines – of which the first wine – as well as white wines. Each process of vinification has its own specificity and methods.

The 2022 vintage was rich in challenges because of the frost in early April followed by a particularly hot and dry Summer.

During this vintage a study was made on the use of the R-Pulse in comparison with traditional air mixing techniques.

Remerciements

Je souhaite en tout premier lieu remercier Mme Blandine DE ROUFFIGNAC, ma maître de stage et responsable du pôle Recherche et Développement, pour l'ensemble de ses conseils, sa bienveillance et sa disponibilité tout au long de ma période à Margaux. Je remercie également son adjoint, M. Jérôme GODINEAU, avec qui ce fut toujours un réel plaisir d'effectuer diverses mesures sur le terrain.

Je remercie M. Philippe BASCAULES, directeur général et M. Sébastien VERGNE, directeur d'exploitation, pour les témoignages de leurs expériences et de leurs visions de la filière.

Je tiens à remercier M. Julien CAZENAVE, chef de culture, ainsi que l'ensemble de l'équipe vigne, pour la transmission de la compréhension du magnifique terroir de Margaux.

J'ai pu découvrir l'ensemble des méthodes de vinification à Château Margaux grâce à M. Philippe BERRIER et ses équipes au chai, je les en remercie chaleureusement.

Je tiens à remercier Mme Corinne MENTZELOPOULOS, propriétaire de Château Margaux de m'avoir accueillie dans sa propriété et ainsi permis de réaliser ce stage très enrichissant et formateur.

Je remercie les autres stagiaires avec qui j'ai pu réaliser cette expérience : Célia MILCAN, Léo ALAGUILLAUME, Thomas FAULKNER ainsi que Martin VIGNOT.

Je souhaite également remercier ma tutrice au sein de l'école, Mme VERNHET, pour sa réactivité et ses conseils durant la rédaction de ce mémoire. M. OLLÉ, à partir du mois de mai, m'aura parfaitement accompagné durant les dernières semaines de rédaction et jusqu'à la soutenance.

Pour finir, je tiens à saluer l'ensemble des équipes de Château Margaux, les services informatiques, jardin ainsi que l'atelier. Travailler avec l'ensemble de ces personnes fut un réel plaisir.

Table des matières

Table des matières

RÉSUMÉ.....	1
ABSTRACT	2
Remerciements	4
Table des matières	5
Table des figures	7
Liste des abréviations	10
Introduction	11
I. Partie I : Vinification	12
1.1 Etude du milieu de production	12
1.1.1 Situation géographique et géologique du vignoble	12
1.1.2 Climat	13
1.1.3 Encépagement	13
1.1.4 Conduite du vignoble	15
1.1.4.1 Opérations à la vigne	15
1.1.4.2 Travail du sol.....	16
1.1.4.3 Lutte contre les maladies	16
1.1.4.4 Lutte contre le gel.....	17
1.2 Etude des moyens de production.....	18
1.2.1 Organisation des bâtiments.....	18
1.2.2 Gestion du matériel technique	20
1.2.3 Gestion du personnel.....	23
1.2.4 Gestion financière.....	24
1.2.5 Gamme de vins et marchés visés.....	24
1.3 Etude de la production.....	26
1.3.1 Maturation du raisin : analyses et choix de la date de récolte	26
1.3.2 Description et discussion des méthodes de vinification	27
1.3.2.1 Vinification des vins blancs.....	27
1.3.2.2 Vinification des vins rouges	33
1.3.3 Etude du R’Pulse : étude d’une cinétique fermentaire	39
1.3.4 Etude du R-Pulse : bulletin œnologique.....	47
1.3.5 Etude de cuves de production : suivis de fermentation et bulletins œnologiques	49

1.3.6 Typologie des vins produits et volumes	53
II. Partie II : Chai et élevage des vins	55
2.1 Le travail du vin	55
2.1.1 Situation des locaux.....	55
2.1.2 Description des éléments d'élevage et du travail du vin	55
2.1.3 Description des itinéraires d'élevage.....	56
2.1.4 Description des étapes de stabilisation	60
2.1.5 Description des étapes de mise en bouteille	62
2.1.6 Suivi des paramètres analytiques de l'élevage à la mise en bouteille : exemple du R-Pulse	63
2.1.7 Suivi des paramètres analytiques de l'élevage à la mise en bouteille : en production.	66
2.2 Etude des démarches qualité et sécurité	67
2.2.1 La démarche Qualité.....	67
2.2.2 Les démarches environnementales et de sécurité.....	68
Conclusion.....	71
Bibliographie	72

Table des figures

Figure 1 : Carte des sols de Château Margaux.....	12
Figure 2 : Graphe de suivi météorologique de Margaux durant la saison 2022.....	13
Figure 3 : Carte d'encépagement du vignoble de Château Margaux.....	14
Figure 4 : Photographie de mildiou de la vigne.....	17
Figure 5 : Photographie de bourgeon de vigne gelé.....	18
Figure 6 : Image satellite des différents bâtiments de la propriété.....	18
Figure 7 : Photographie de la salle de dégustation du chai Foster.....	20
Figure 8 : Photographie de tracteur utilisé pour amener la vendange.....	20
Figure 9 : Photographie du cuvier bois.....	21
Figure 10 : Photographie des pompes utilisées au chai.....	22
Figure 11 : Photographies de la chaîne d'embouteillage.....	22
Figure 12 : Photographie du titrateur automatique.....	23
Figure 13 : Organigramme de Château Margaux.....	23
Figure 14 : Photographie des vins de Château Margaux.....	25
Figure 15 : Photographies de la chaîne de réception de la vendange blanche.....	28
Figure 16 : Photographie de la préparation du levain.....	31
Figure 17 : Schéma de vinification des vins blancs.....	32
Figure 18 : Photographie de la chaîne de réception de vendange des rouges.....	33
Figure 19 : Schéma de la chaîne de réception de la vendange des rouges.....	34
Figure 20 : Photographie d'un échangeur tubulaire.....	35
Figure 21 : Photographie de l'opération du remontage.....	36
Figure 22 : Photographies des écoulements et du pressurage.....	37
Figure 23 : Schéma de vinification des vins rouges.....	38
Figure 24 : Photographie du R'Pulse.....	39
Figure 25 : Photographie du R'Pulse en cours d'utilisation.....	41
Figure 26 : Dessin d'une molécule de resvératrol.....	42
Figure 27 : Dessin d'une molécule de catéchine.....	43
Figure 28 : Dessin d'une molécule de pyranoanthocyane.....	44
Figure 29 : Graphe d'évolution de la densité et de la température en fonction de la modalité.....	46
Figure 30 : Graphe d'évolution de la température des moûts pour les deux modalités.....	47
Figure 31: Graphe de suivi de l'évolution d'extraction des tanins en fonction de la modalité.....	48
Figure 32 : Graphe de suivi de l'évolution d'extraction des anthocyanes en fonction de la modalité... ..	48
Figure 33 : Graphe de suivi de la densité et température de la cuve 20.....	49
Figure 34 : Analyses à l'encuvage pour la cuve 20 en interne et en laboratoire.....	50

Figure 35 : Graphe de suivi de la densité et température du lot 1A	52
Figure 36 : Informations sur le lot 1A.....	52
Figure 37 : Bulletin d'analyses de fin de FA pour les blancs.....	53
Figure 38 : Photographies du chai de première année (image gauche) et de seconde année (image droite)..	55
Figure 39 : Photographie d'une dodine.....	56
Figure 40 : Photographie d'une dégustation de vins.	57
Figure 41 : Photographies des amphores d'élevage.	58
Figure 42 : Photographie du soutirage à l'esquive.	59
Figure 43 : Schéma sur l'assemblage des vins rouges.	59
Figure 44 : Photographie de bouchon de type Diam 30.	62
Figure 45 : Bulletin d'analyses de fin de FA.	63
Figure 46 : Photographie de la tireuse du laboratoire R&D.....	65
Figure 47 : Bulletin d'analyses d'élevage pour les vins rouges	66
Figure 48 : Capture d'écran du logiciel PROVINO.....	67
Figure 49 : Photographie de l'essai Viti-Tunnel.....	69

Table des tableaux

Tableau 1 : Suivi des analyses de maturité de la parcelle l'Orangerie.....	27
Tableau 2 : Cycles pour le pressurage des raisins blancs.	29
Tableau 3 : Tableau des opérations de l'essai.	40
Tableau 4 : Tableau de résultats d'analyses à l'encuvage des deux modalités.....	41
Tableau 5 : Tableau des résultats d'analyses à l'encuvage et après écoulage, pour les deux modalités. 48	
Tableau 6 : Tableau d'analyse de fin de fin de FA pour la cuve 20.....	51
Tableau 7 : Tableau récapitulatif de fin d'écoulage.....	51
Tableau 8 : Tableau descriptif des différents vins de Château Margaux.....	54
Tableau 9 : Tableau de résultats d'analyses de fin de FML, pour les deux modalités.	64
Tableau 10 : Tableau d'analyses pré MEB, pour les gouttes et P1 des deux modalités.	65

Table des annexes

Annexe 1 : Table de conversion du Titre Alcoométrique Potentiel en fonction du rendement en alcool (sucres pour 1% vol. d'alcool)	74
Annexe 2 : Capture d'écran du logiciel PROVINO indiquant le suivi d'analyse d'un vin	74
Annexe 3 : Bulletin d'analyse de fin FML pour la modalité remontage	75
Annexe 4 : Bulletin d'analyse de fin FML pour la modalité R'Pulse	76
Annexe 5 : Bulletin d'analyse d'avant mise en bouteille pour les essais R&D	77
Annexe 6 : Fiche d'utilisation du DECATARTRE LIQUIDE.	78
Annexe 7 : Fiche d'utilisation du DECAPOL ACTIF.	79

Liste des abréviations

AM : Acide Malique

AOC : Appellation d'Origine Contrôlée

AT : Acidité Totale

AV : Acidité Volatile

DO : Densité Optique

FA : Fermentation Alcoolique

FML : Fermentation Malolactique

GV : Grand Vin

IPT : Indice de Polyphénols Totaux

LSA : Levures Sèches Actives

MEB : Mise en Bouteille

PB : Pavillon Blanc

PR : Pavillon Rouge

R&D : Recherche et Développement

SO₂ : Dioxyde de soufre

TAV : Taux Alcoométrique Volumique

TAVP : Titre Alcoométrique Volumique Potentiel

Introduction

Depuis la fin du XVII^{ème} siècle, la vigne est cultivée sur la commune de Margaux. En 1855, l'empereur Napoléon III décide, dans le cadre de la seconde Exposition Universelle, de créer une classification des plus grands Crus médocains. Château Margaux obtient ainsi le classement de 1^{er} Grand Cru Classé du Médoc. Titre partagé avec seulement trois autres propriétés à l'époque : le Château Lafite Rothschild, Château Latour ainsi que Château Haut-Brion.

Par la suite, le vignoble subit la crise du phylloxéra et connut de nombreux propriétaires. La qualité des vins est fluctuante et le domaine cherche à se relancer.

C'est en 1977 qu'André MENTZELOPOULOS décida de racheter la propriété et de lui redonner ses lettres de noblesse. De nombreux investissements sont effectués et l'outil de vinification est modernisé. En 1980, sa fille Corinne MENTZELOPOULOS reprend la direction de la propriété avec pour ambition de continuer l'entreprise débutée par son père.

L'année 1990 fut marquée par l'arrivée au domaine de Paul PONTALLIER qui deviendra une figure de la propriété. Dans sa volonté d'excellence alliée au progrès, il participa à la création du pôle recherche et développement en 2000. Ce pôle a pour but d'optimiser et améliorer l'ensemble des opérations à la vigne, au chai, et durant les vinifications. Il doit pour cela se tenir informé de l'ensemble des dernières technologies et techniques.

Dans le cadre de cette recherche permanente de qualité, Château Margaux fit appel à Norman FOSTER afin de réaliser un nouveau lieu de vinification. Il fut inauguré en 2015 et donna naissance à ce célèbre millésime, le dernier réalisé sous la direction de Paul PONTALLIER.

Désormais, Château Margaux possède un outil de travail idoine : grande capacité de cuverie permettant des vinifications en parcellaire, laboratoire d'analyses, grands espaces lumineux.

Ce mémoire a pour visée de décrire et discuter l'ensemble des procédés de vinification des vins rouges et blancs de Château Margaux.

Dans un premier temps, les moyens de production et les techniques aux vignobles seront exposés. Par la suite, les processus de vinifications et d'élevage des vins de Château Margaux seront étudiés.

Les suivis de vinifications seront effectués par le biais du suivi de l'expérimentation concernant le R'Pulse par rapport aux remontages classiques.

1.1.2 Climat

Le climat de Margaux est un climat de type océanique. En effet, la région est bordée par l’Océan Atlantique à l’Ouest (à cinquante kilomètres) et par l’estuaire de la Gironde à l’Est.

Les températures sont douces durant l’hiver mais peuvent être plutôt chaudes l’été.

La moyenne des précipitations annuelle est d’environ 931.8 mm et la température moyenne est de 13.1 °C.

Selon la classification de Köppen-Geiger, le climat au sein du Médoc est de type Cfb. C’est-à-dire un climat maritime, tempéré et où les sécheresses et les saisons arides sont rares. (Peel *et al.*, 2007)

Les étés et les hivers y sont bien définis.

La culture de la vigne est particulièrement adaptée à ce type de conditions mais il est nécessaire de prendre de nombreuses précautions quant aux maladies pluie-dépendantes. Le mildiou exerce ainsi une pression constante sur le vignoble de Margaux, et tout particulièrement lors des millésimes pluvieux.

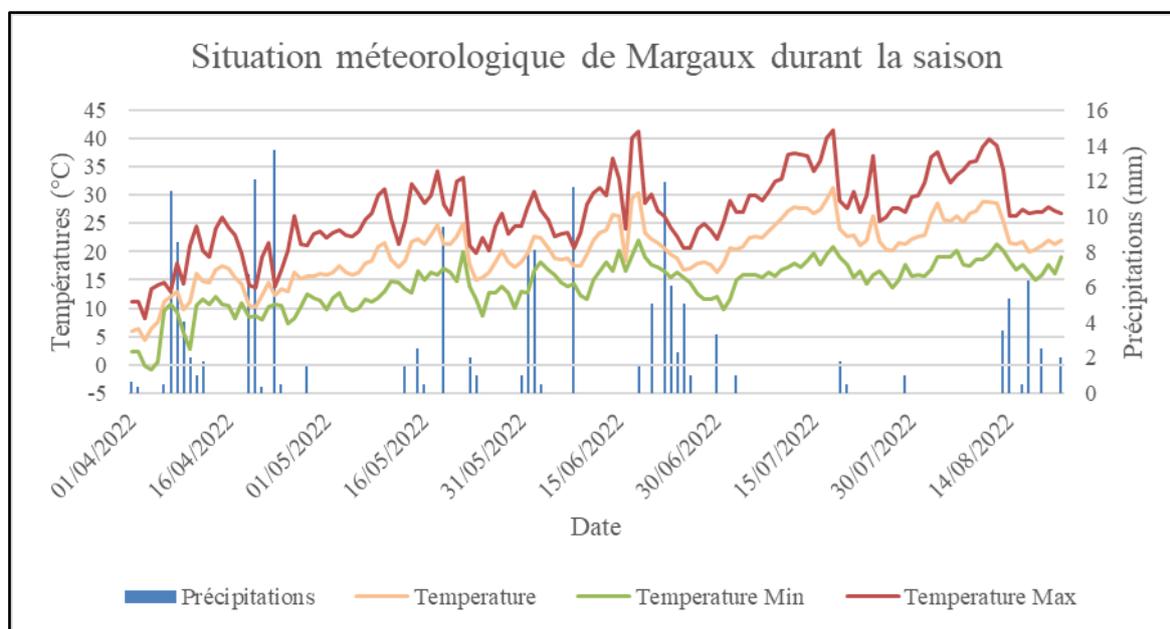


Figure 2 : Graphe de suivi météorologique de Margaux durant la saison 2022. Réalisation personnelle

Comme le montre la figure 2, le millésime 2022 fut sec, avec une période allant de fin juin à mi-août où les précipitations furent proches de 0 mm.

Des pics de température ont été atteints avec jusqu’à 41°C relevés au vignoble durant le mois de juillet. On constate également les températures minimales liées aux gelées du début de mois d’avril qui ont affecté l’ensemble du vignoble bordelais.

1.1.3 Encépagement

Le vignoble de Château Margaux s’étend sur 99 ha, 94 ha de ceux-ci sont en vigne plantée et 5 ha sont en jachère pour cinq années (figure 3).

82 ha sont constitués de cépages rouges, en appellation d’origine contrôlée (AOC) Margaux.

Le cépage le plus présent, à hauteur de 75% est le Cabernet-Sauvignon N. 20% des cépages rouges sont du Merlot N et la part restante est constituée de Petit Verdot N et Cabernet-Franc N.

Le Cabernet-Sauvignon N est le cépage clé pour l’élaboration des grands vins de Margaux, il est notamment planté sur les terroirs les plus cotés du domaine.

Le choix du matériel végétal pour ce cépage s'est porté sur les clones 169, 191, 338 et 341. Chaque clone possède ses qualités intrinsèques. Par exemple, le clone 169 donne des raisins avec des taux de composés phénoliques élevés, ce qui est intéressant dans l'optique de production d'un vin rouge de garde.

Pour le Merlot N, les clones choisis sont les 181, 347 et 342.

Une partie non négligeable du vignoble est constituée de vieilles vignes, âgées de plus de quarante ans. Celles-ci ont un tissu racinaire plus profond, plus développé et vont engendrer des rendements plus faibles. Les raisins seront ainsi plus concentrés et rentreront en partie dans l'élaboration du Grand Vin. L'âge moyen des vignes permettant de produire le Grand Vin est de 47 ans pour ce millésime.

Les parcelles de blancs sont localisées sur le lieu-dit de Virefougasse. Les 12 ha sont exclusivement constitués du cépage Sauvignon blanc issus des clones 297 et 316. Ces vignes sont en appellation « Bordeaux Blanc ».

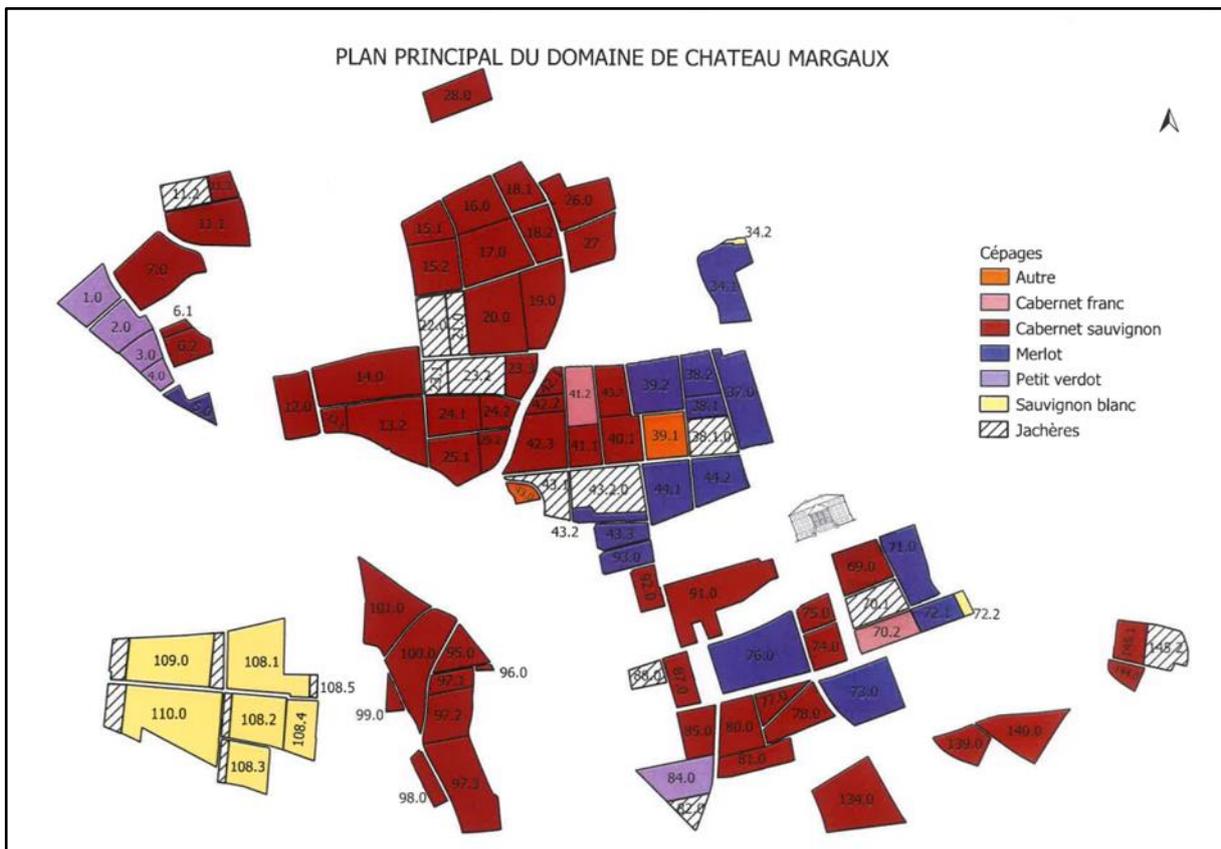


Figure 3 : Carte d'encépagement du vignoble de Château Margaux. Réalisée par P. Müller.

La densité de plantation est de 10 000 pieds/hectare avec une distance d'un mètre entre les pieds et un mètre entre chaque rang.

Néanmoins, certaines parcelles (en particulier les parcelles de Merlot N et de Sauvignon Blanc) sont plantées avec une distance d'1M50 entre les rangs, donnant ainsi une densité de 6 667 pieds/hectare. Cette distance entre les rangs permet notamment de mettre en place un couvert végétal permettant de concurrencer la vigne et donc d'obtenir des baies plus concentrées et plus qualitatives. La portance de ces sols est également améliorée.

Les porte-greffes utilisés pour le vignoble sont le 3309C, 110R, 14Mgt et 420A. Ces derniers sont tous résistants au phylloxéra.

Chacun possède ses propres propriétés, ceux utilisés par la propriété s'adaptent bien avec le Cabernet-Sauvignon et permettent de préserver les qualités. Le 420A est particulièrement apprécié et utilisé dans la région Bordelaise par les Grands Crus Classés. (Renouf *et al.*, 2010)

1.1.4 Conduite du vignoble

1.1.4.1 Opérations à la vigne

- Taille

L'étape de la taille de la vigne est déterminante pour la détermination du rendement et de la qualité future de la vendange. (Reynolds, 1989) Il est nécessaire que la pratique soit conforme aux objectifs fixés pour le millésime à venir.

La taille est exclusivement réalisée de manière manuelle et s'étend d'une période allant de novembre à mars.

L'appellation Margaux cadre cette pratique, au sein de Château Margaux la taille pratiquée est la taille médocaine, une variante du Guyot double. D'après le cahier des charges, il est nécessaire de conserver deux astes par pied avec chacun quatre bourgeons francs (pour les cépages Cabernet-Sauvignon, Merlot et Petit Verdot) sauf pour le Cabernet-Franc où cinq bourgeons francs sont autorisés. Des cots peuvent servir dans le cas où le déploiement de surface du pied doit être diminué.

Le Sauvignon Blanc est taillé en guyot double et le plus tôt possible dans la saison. En effet, la volonté est d'en avancer la maturité le plus possible. (Falginella *et al.*, 2022) En cas de gel, les systèmes d'aspersion seront utilisés et la propriété veut privilégier une bonne maturité pour ce cépage.

Au fur et à mesure de l'avancement de la taille des parcelles, les bois sont tirés et placés en bout de parcelles, ceux-ci serviront de compost pour plus tard.

- Pliage et acanage

L'étape de l'acanage consiste à attacher le pied de vigne à un piquet en bois ou au fil afin de rester dans l'alignement du rang. L'attache est faite avec du vime qu'il faut changer chaque hiver. L'attache se dégrade au cours du temps et n'étrangle donc pas le cep.

Le pliage vient attacher les astes au fil porteur afin qu'ils suivent l'alignement du rang et facilitent le travail des vigneronns ainsi que le passage des machines.

- Ecimage et rognage

Ces deux actions ont pour but de dessiner la végétation de la vigne durant la croissance végétative. Les deux opérations sont similaires dans le but, toutes deux mécanisées. Le rognage taille les côtés de la végétation, en particulier les apex des rameaux secondaires tandis que l'écimage coupe les apex des rameaux primaires.

Les deux étapes sont complémentaires car l'écimage va pousser à la croissance des rameaux secondaires, par cause de perte de la dominance apicale.

Le rognage peut favoriser le développement des entre-cœurs qu'il faudra retirer lors de l'étape de l'échardage afin de rediriger le sucre vers les raisins et limiter les entassements de végétation (et donc les maladies cryptogamiques).

- Eclaircissage

L'éclaircissage est une pratique effectuée à Château Margaux ayant pour visée d'éliminer le surplus de grappes sur le cep. Les grappes formant des amas sont éliminées ainsi que celles présentant de la maladie ou des dommages. Ainsi, le château limite le risque de foyers de maladies cryptogamiques.

Des comptages sont effectués dès la nouaison, pour chaque parcelle, afin de savoir la proportion de grappes à éliminer. L'éclaircissage a lieu avant la véraison, au mois de juillet.

Cette opération va réduire le rendement et modifier les courbes de chargement en sucres.

1.1.4.2 Travail du sol

Tous les trois ans, Château Margaux met en place une campagne d'amendements afin d'enrichir le sol en éléments minéraux, en particulier l'azote. La matière organique provient du fumier des bovins appartenant à la propriété.

Les apports sont effectués au début d'année, en janvier.

Une stratégie d'enherbement est mise en place sur les parcelles avec un écartement d'1,5m entre les rangs. Cet enherbement spontané est maintenu toute l'année est à vocation à améliorer la portance des sols tout en apportant une concurrence à la vigne lui permettant de s'améliorer qualitativement.

Depuis 2022, une stratégie globale d'enherbement est mise en place sur l'ensemble du vignoble afin de répondre aux problématiques de chacune des parcelles.

La propriété n'utilisant pas de désherbants de synthèse, de nombreux désherbages mécaniques ont lieu tout au long de la saison.

A partir de mars, plusieurs passages de griffe auront lieu afin d'éliminer les adventices et aérer les sols. Avant l'arrivée de l'hiver, au mois de novembre, a lieu une opération de chaussage. De la terre est ramenée autour du pied de vigne afin de former le cavaillon et ainsi protéger la vigne du froid tout en limitant le développement d'adventices.

Au printemps, l'opération de déchaussage viendra ramener la terre dans l'inter-rang et désherbera ainsi autour du pied de vigne.

1.1.4.3 Lutte contre les maladies

La propriété s'est donnée pour ligne directrice de respecter le cahier des charges de l'agriculture biologique en bannissant les traitements de synthèse. Néanmoins, Château Margaux n'a pas souhaité la certification AB car celle-ci n'est pas vue comme une finalité.

En effet, il est nécessaire d'aller encore plus loin et de trouver des alternatives au cuivre, celui-ci ayant des effets délétères sur la vie des sols. (Printz *et al.*, 2016) L'équipe R&D œuvre donc à trouver de nouvelles méthodes permettant de se passer du cuivre (essai Viti-Tunnel notamment).

Les deux maladies principales : le mildiou et l'oïdium sont donc traitées par le cuivre et le soufre. Neuf traitements eurent lieu en 2022, le dernier étant le 29 juin, avant l'étape de la véraison. Les traitements sont placés en fonction des épisodes pluvieux, le chef de culture doit donc suivre précisément les annonces météorologiques afin d'optimiser les traitements du vignoble.

Ce millésime fut marqué par d'excellentes conditions pour la réduction des traitements, la pression en maladies était peu élevée en raison de la sécheresse et des faibles précipitations. Les dégâts causés par le mildiou et l'oïdium ont été quasiment nuls.



Figure 4 : Photographie de mildiou de la vigne. Source : Phyteis.fr

Les traitements réglementaires contre la flavescence dorée ont eu lieu en mai et en juin. Ces traitements sont à base de Pyrèvert, substance issue du chrysanthème *Chrysanthemum cinerariaefolium*.

Château Margaux utilise la confusion sexuelle afin de détourner les espèces de vers de grappe Eudémis et Cochylys. Les phéromones diffusées attirent les papillons mâles de ces espèces et compliquent donc leur reproduction.

1.1.4.4 Lutte contre le gel

A l'instar du millésime 2021, le millésime 2022 connut un épisode de gel au début du mois d'avril, en pleine période de début de débourrement de la vigne (figure 5).

La majorité du domaine est restée assez épargnée par le gel, de par sa position géographique privilégiée. Néanmoins, plusieurs stratégies ont été mises en place afin de protéger certaines parcelles plus sensibles. Les parcelles de Sauvignon Blanc situées à Virefougasse ont été protégées grâce à l'aspersion.

Des éoliennes mobiles furent installées afin de protéger les Cabernet-Sauvignon du lieu-dit de Chigarail, situé plus loin de l'estuaire et étant beaucoup plus sensible au gel.

Pour finir, des hélicoptères effectuent des rotations aux heures les plus à risques, avant le lever du soleil. Cette méthode permet un brassage de l'air et donc de ramener de l'air plus chaud au niveau du sol. (Rochard *et al.*, 2019)



Figure 5 : Photographie de bourgeon de vigne gelé. Image personnelle

1.2 Etude des moyens de production

1.2.1 Organisation des bâtiments



Figure 6 : Image satellite des différents bâtiments de la propriété. Source : Google MAPS

1 : Château – 2 : Tonnellerie et chais à barrique – 3 : Cuvier bois et salle FML – 4 : Chai Foster – 5 : Bureaux – 6 : Atelier de réparation – 7 : Cour des artisans – 8 : Musée et salle d'accueil – 9 : sulfaterie – 10 : Hangars à machines agricoles – 11 : Parking principal – 12 : Parking bus – 13 : l'orangerie – 14 : Bâtiment de logistique

Les bâtiments de l'entreprise Château Margaux sont dispersés autour du Château, qui occupe une place centrale dans la propriété. L'ensemble des bâtiments de la propriété sont classés monuments historiques. Les bureaux (5) sont situés à proximité proche du Château et de l'accès principal, y sont présents la direction, le bureau du Chef de culture, le service Recherche et Développement, le secrétariat, les équipes informatiques ainsi qu'une salle de réunion. Les stagiaires ont également leurs bureaux dans ce bâtiment.

La cour des artisans (7) jouit d'une position centrale et donnant accès à l'atelier de réparation (6) ainsi qu'à la salle de pause des jardiniers et à la sulfaterie (9) où les différents traitements sont préparés par le chef de culture.

A proximité de la cour des artisans se trouve le musée et l'accueil aux visiteurs (8) qui sont directement accessibles depuis le parking principal (11).

Les équipes de la vigne se servent des hangars (10) pour stocker le matériel et les différents outils qui leur seront utiles tout au long de la saison. L'orangerie (13) est utilisée comme salle de déjeuner et d'accueil pour les vendangeurs et saisonniers lors des vendanges.

La partie chai de vinification et d'élevage se découpe en trois bâtiments accolés.

Celui qui est central (3) contient l'ancien cuvier bois avec ses 26 cuves coniques d'une capacité de 150hL unitaire.

De nouvelles cuves, coniques toujours, en inox sont installées dans ce chai.

Cette partie du chai est utilisée pour les vinifications des vins rouges, ces derniers réalisant leurs fermentations malolactiques dans une salle thermorégulée de ce bâtiment.

Directement en liaison avec ce bâtiment se trouve le chai à barrique des vins de première année (2). Derrière ce chai se trouve la tonnellerie de Château Margaux tandis qu'au sous-sol on retrouve le chai à barrique des vins de seconde année, la vinothèque ainsi qu'une salle de mise en bouteille inaugurée en 2022.

Visible par son architecture résolument moderne, le nouveau chai Foster (4) a été inauguré en 2015.

Ce nouvel outil de travail contient de nombreuses cuves inox permettant le travail en parcellaire. Principalement utilisé pour la vinification des vins blancs, on trouve également au rez-de-chaussée un local d'essai pour la R&D. Ce local possède trois salles thermorégulées ainsi qu'un hall d'accueil. Ces salles contiennent les différents essais de minivinification et d'élevages.

A l'étage du chai Foster, nous trouvons le laboratoire d'analyse des vins, la salle de dégustation ainsi que le bureau du maître de chai.

La salle de dégustation est utilisée par l'équipe technique de Château Margaux durant les assemblages ainsi qu'avant la prise de décisions importantes durant le processus de vinification (date d'écoulage notamment).

L'équipe R&D se sert de la salle de dégustation afin de mettre en place divers tests (préférence, triangulaire) permettant de mieux comprendre et interpréter les différents essais mis en place sur les vins (figure 7).



Figure 7 : Photographie de la salle de dégustation du chai Foster. Image personnelle.

Le bâtiment lié à la logistique (14) est un peu plus excentré du reste des activités de Château Margaux. Plusieurs salles sont utilisées afin de stocker les vins de Château Margaux sur différents millésimes ainsi que des matières sèches nécessaires aux expéditions.

Une chaîne d'habillage de vins et de gravure (afin d'identifier les bouteilles) se trouve également à cet endroit. L'équipe logistique possède son bureau ici.

1.2.2 Gestion du matériel technique

Partie Vigne

La sulfaterie, où ont lieu l'ensemble des préparations pour la vigne possède un système de ventilation, un système de brassage et deux cuves. Le volume préparé sera donc suffisant pour charger les enjambeurs grâce aux deux rampes de remplissage.

En plus des enjambeurs, la propriété possède également des tracteurs et loue des bus et camionnettes lors des périodes de vendanges (figure 8).



Figure 8 : Photographie de tracteur utilisé pour amener la vendange. Image personnelle.

Réception de la vendange

La ligne de vendange est composée d'un tapis roulant retournant les cagettes suivie d'une table de tri vibrante puis d'un tapis élévateur amenant le raisin à un éraflleur (Modèle : SOCMA Le Cube) puis un fouloir (pour les rouges).

Un autre tapis élévateur va amener les baies dans un cuvon (pour les rouges) ou dans le pressoir (pour les blancs).

Un essai de tri densimétrique pour les rouges a été mis en place sur la chaîne de réception de vendange pour ce millésime.

Cuvier

Concernant l'outil de vinification, Château Margaux possède 26 cuves en bois de forme tronconique. Ces cuves ne possèdent pas d'outil de régulation de la température et doivent donc être assistées d'un système de régulation extérieur lors de transferts.

Les cuves en inox dans les anciens bâtiments sont au nombre de 27, ces cuves ont des contenances de 25 à 177 hL et servent à la vinification des rouges. Le système de thermorégulation est inclus dans les doubles parois externes de ces cuves. Les consignes de température sont décidées par le maître de chai qui peut toutes les régler en même temps.



Figure 9 : Photographie du cuvier bois. Image personnelle.

Le chai Foster contient 40 cuves inox cylindriques. Le nombre conséquent de cuves permet notamment un travail en parcellaire. Ces cuves servent à l'élaboration du vin blanc mais également pour les vinifications en rouge.

Quatre cuves en inox et trois cuves en bois peuvent réaliser les remontages de manière automatique selon la prise de densité. Auparavant pilotées par la section R&D, ces cuves sont aujourd'hui utilisées en production par les équipes du chai.

Château Margaux possède deux chais d'élevage des vins : un de première année et un de seconde année. De nombreuses barriques y sont présentes. Celles-ci proviennent de divers tonneliers et environ 200 par an proviennent directement de la tonnellerie du domaine.

Concernant les transferts de vins, les équipes du chai utilisent des pompes péristaltiques qui offrent un bon compromis entre préservation des vins et facilité d'entretien. (Figure 10)
Néanmoins, l'équipe RD a entrepris des essais afin de trouver une pompe offrant un meilleur rapport pour l'oxygène dissous dans les vins.



Figure 10 : Photographie des pompes utilisées au chai. Image personnelle.

Embouteillage et conditionnement

Jusqu'à l'année 2022, un prestataire venait à la propriété afin de réaliser l'embouteillage par camion. Or, la propriété a décidé d'investir dans une chaîne d'embouteillage qui sera fonctionnelle dès 2023. Il sera donc plus aisé de programmer et mettre en place en interne l'activité d'embouteillage.

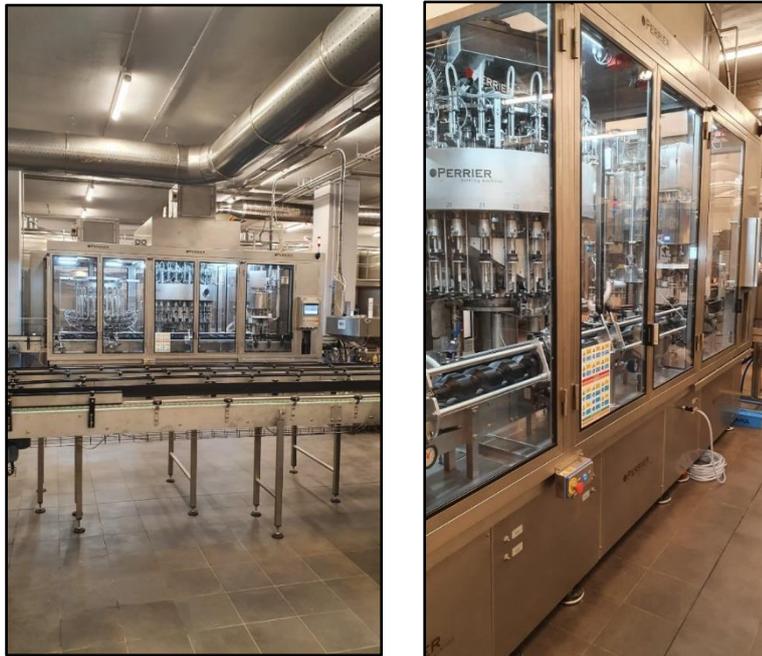


Figure 11 : Photographies de la chaîne d'embouteillage. Images personnelles.

L'habillage des bouteilles et leur emballage pour livraison sont réalisés par la logistique dans un bâtiment dédié à cette tâche.

Laboratoire d'analyse

Au sein du chai Foster, Château Margaux possède son propre laboratoire d'analyse lui permettant d'automatiser en interne certaines mesures.

Un titrateur automatique, un analyseur enzymatique ainsi qu'un spectrophotomètre sont disponibles (figure 12).



Figure 12 : Photographie du titrateur automatique. Image personnelle.

1.2.3 Gestion du personnel

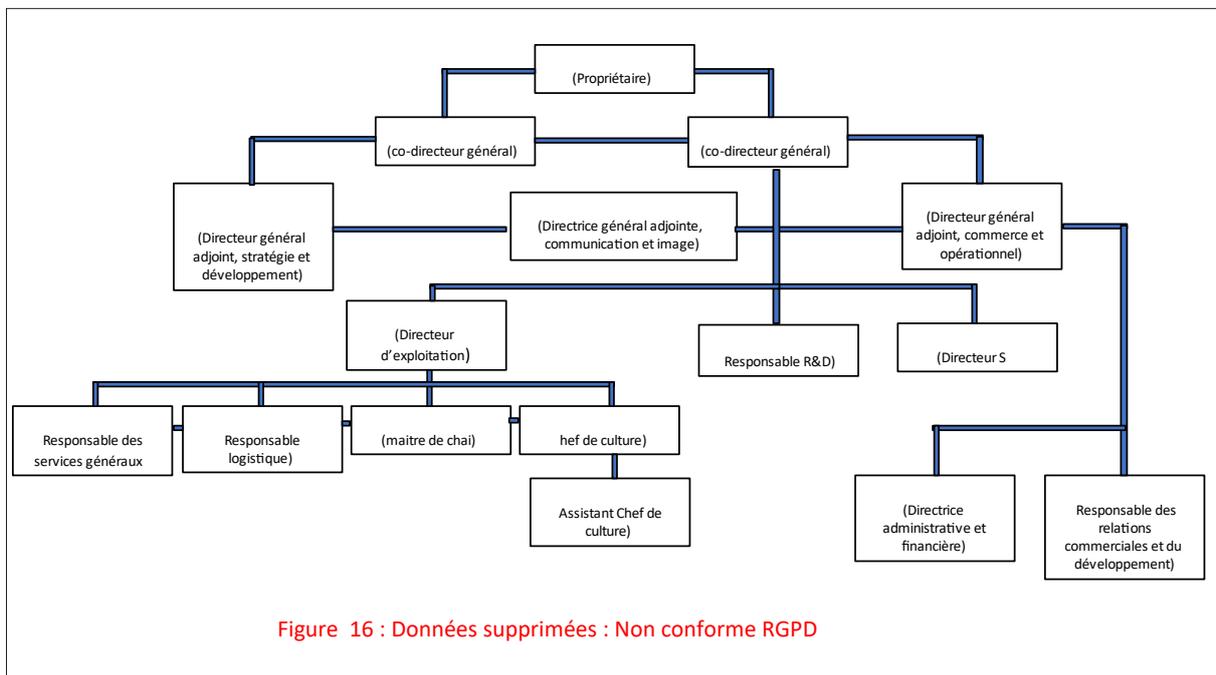


Figure 16 : Données supprimées : Non conforme RGPD

Figure 13 : Organigramme de Château Margaux.

Château Margaux appartient à la famille MENTZELOPOULOS, Corinne MENTZELOPOULOS est ainsi la propriétaire du domaine.

La direction générale est partagée entre M.Philippe BASCAULES et M.Olivier PINON. M.BASCAULES est présent sur le site de Margaux et a une vision d'ensemble sur l'ensemble des questions techniques. Les bureaux de M.PINON sont basés à Paris, il y supervise notamment les activités commerciales et financières du groupe.

Ils sont assistés par trois co-directeurs adjoints. Mme Alexandre PETIT-MENTZELOPOULOS est en charge de la communication et de l'image, M.Aurélien VALANCE est lui axé sur le commercial tandis que M.Alexis LEVEN-MENTZELOPOULOS s'occupe de la stratégie de développement du domaine, entre Paris et Margaux.

M.Sébastien VERGNE est le directeur d'exploitation, il supervise de manière transverse le bon fonctionnement de l'ensemble de la propriété, des jardins à la vigne.

Il a sous sa direction le service vigne, le chai, les services généraux et la logistique.

Le service vigne est sous la direction du chef de culture, M.Julien CAZENAVE ainsi que de son assistant M.Pierre MULLER. Ils supervisent une équipe de 35 vigneron dont chacun a la charge de parcelles prédéfinies d'une année à l'autre. Cette manière de travailler permet un suivi personnalisé de chaque parcelle du vignoble puisque le vigneron est apte à détecter un changement ou une perturbation d'une année à l'autre.

De nombreux saisonniers sont amenés à travailler avec les permanents tout au long de la saison. Chaque vigneron est alors en charge d'une équipe de saisonniers. Ceux-ci sont particulièrement importants lors des travaux en vert et durant les vendanges.

Pour le millésime 2022, Château Margaux a fait appel à 200 vendangeurs en plus des équipes du domaine, en effet, le besoin humain est important sachant que la totalité de la propriété est vendangée de manière manuelle.

Le maître de chai, M.Philippe BERRIER encadre une équipe d'une douzaine de personnes. Durant les vinifications et les écoulages, le domaine fait également appel à une main d'œuvre saisonnière.

L'équipe R&D est dirigée par Mme Blandine DE ROUFFIGNAC, qui est assistée de M. Jérôme GODINEAU ainsi que de quelques stagiaires sur une période de mars à décembre. Chaque stagiaire est en charge d'une problématique R&D, au vignoble ou bien en lien avec les processus de vinification.

Le reste des effectifs est constitué de l'informatique (4 personnes dans ce pôle), du secrétariat, des fonctions administratives et commerciales ainsi que l'ensemble des équipes de la logistique.

1.2.4 Gestion financière

Les questions financières sont traitées par Mme Noelle ROLLAND, directrice administrative et financière. Située au bureau de Paris, elle est sous la hiérarchie de M.Olivier PINON et travaille aux côtés d'une équipe de trois comptables.

1.2.5 Gamme de vins et marchés visés

Château Margaux suit la tradition bien ancrée de la place Bordelaise de la gamme de vins.

En effet, il est coutume pour les Crus Classés de posséder un premier vin, qui en général possède davantage de structure et de capacité de garde.

La propriété possède donc un Grand Vin et le Pavillon Rouge. Un troisième vin est également présent, il s'agit du Margaux de Château Margaux.

Le vin blanc, le Pavillon Blanc est issu des Sauvignon blancs des parcelles de Virefougasse.

Une partie de la production en rouge et en blanc est vendue en vrac.

La propriété produit ainsi en moyenne chaque année :

- 120 000 bouteilles du 1^{er} Vin, le Grand Vin de Château Margaux, Premier Grand Cru Classé en AOC Margaux.
- 110 000 bouteilles du 2nd vin, le Pavillon Rouge en AOC Margaux.
- 70 000 bouteilles du 3^{eme} vin, le Margaux de Château Margaux, en AOC Margaux.
- 10 000 bouteilles du vin blanc, le Pavillon Blanc en AOC Bordeaux.

Concernant les circuits de vente, le domaine travaille en presque exclusivité avec les négociants de la place bordelaise. L'essentiel des volumes sont vendus lors des Primeurs se déroulant au printemps, les négociants et acheteurs y dégustent ainsi le dernier millésime et décident de stratégies d'achat.

L'équipe directrice de Château Margaux fixe chaque année un nouveau prix de vente pour le millésime en se basant sur la demande, la disponibilité et la qualité du produit final.

Les marchés visés sont les restaurants, caves et clients particuliers en France et à l'export. Le domaine souhaite contrôler les canaux de revente de ses vins et sélectionne donc avec attention les négociants qui auront les allocations du millésime.

Les prix de bouteille étant élevés, le marché visé est à fort pouvoir d'achats et très international. En dehors de la France, les principaux acquéreurs de Château Margaux se trouvent en Europe ainsi qu'aux Etats-Unis et en Chine.



Figure 14 : Photographie des vins de Château Margaux. Image personnelle.

1.3 Etude de la production

1.3.1 Maturation du raisin : analyses et choix de la date de récolte

Depuis maintenant deux ans, le suivi de maturité des parcelles et les différents prélèvements sont réalisés par une équipe temporaire composée d'environ quatre personnes.

Celle-ci est présente sur la propriété dès le mois d'août et le début de la véraison, période où la pellicule des raisins commence à se ramollir, signe d'arrivée à la maturité. (Cameron *et al.*, 2021)

Les équipes R&D sont en charge des relevés maturités uniquement sur les parcelles d'expérimentation.

L'ordre de contrôle des parcelles tient compte de plusieurs paramètres, les deux principaux étant le cépage concerné et l'historique des dates de vendange sur la parcelle en question. Ainsi, les Sauvignon Blanc puis les Merlot N seront les premiers cépages à être prélevés pour le suivi de maturité.

En fonction de l'orientation, du type de sol ou de l'emplacement géographique de la parcelle, un même cépage peut arriver à maturité à des dates différentes.

Afin d'obtenir la meilleure représentativité possible, 400 baies sont prélevées pour chaque analyse. Les rangs de prélèvement sont prédéfinis à l'avance et le préleveur doit alterner entre les orientations, les positions sur le pied ainsi que sur les grappes pour obtenir le maximum de fidélité possible.

Sur chaque grappe, quatre baies sont prélevées, une sur la face principale, une sur le derrière de la grappe et deux latéralement. En effet, les propriétés de chaque grain peuvent varier en fonction du positionnement à l'intérieur de la grappe. (Doumouya *et al.*, 2014)

Chaque baie ne reçoit pas le même rayonnement solaire, ce qui va notamment jouer sur la température et à terme sur la maturité de la baie et donc de ses composantes physico-chimiques. (Smart et Sinclair, 1976)

La hausse des températures sur les baies a un effet sur l'accélération du chargement en sucres, avec une maturité plus précoce. (Sepúlveda et Kliever, 1986)

Les baies prélevées sont amenées au laboratoire du Chai Foster où elles sont d'abord pesées avant d'être pressées.

Les mesures d'intérêt sont le TAVP, le pH, l'acidité totale ainsi que l'azote assimilable.

Les prélèvements de 400 baies sont pesés au sein de laboratoire afin d'obtenir la masse précise de raisin.

Ces derniers sont ensuite broyés dans un broyeur, on en extrait le jus qui servira aux différentes analyses.

La température du moût est prise à l'aide d'un thermomètre à sonde.

La densité à 20°C du moût est déterminée par un réfractomètre électronique qui corrige la mesure par rapport à la température réelle du moût.

A partir de cette donnée et des tables de conversion (voir annexe 1), nous pouvons déduire la concentration en sucres réducteurs ainsi que le TAP (Titre Alcoométrique Potentiel). Un rendement de conversion en alcool est nécessaire (sucres pour 1% vol. alcool). En général, ce taux de conversion se situe entre 16,83g/L et 18g/L. (Terblanche, 2019)

Le pH ainsi que l'acidité totale sont donnés par le titrateur automatique (de la marque Steroglass) qui utilise une solution de soude NaOH à 0.25 mol/L.

Un analyseur séquentiel (analyseur OE-200 d'OENOLAB DIAGNOSTICS) permet d'obtenir la concentration en acide L-malique et en azote assimilable.

Le tableau 1 indique le suivi des analyses maturités pour des Merlot N de la parcelle de l'Orangerie, les relevés ont eu lieu aux dates du 10/08/2022, 22/08/2022 et 01/09/2022.

Tableau 1 : Suivi des analyses de maturité de la parcelle l'Orangerie

Mesure	10/08	22/08	01/09
Poids de 200 baies (g)	272,24	305,4	320,44
Densité	1.0714	1.0835	1.0925
TAP (% vol)	9.76	11.62	12.97
pH	2.93	3.14	3.28
AT (g/L H ₂ SO ₄)	7.42	4.15	3.96
Acide malique (g/L)	4.83	1.78	1.18

Pour les Merlot de cette parcelle, la maturité fut précoce comparée aux années précédentes. En effet, les acidités chutèrent assez tôt dans la saison et le TAP dépassa 13% vol. dès les premiers jours du mois de septembre.

Cette parcelle fut vendangée le 16/09.

Le choix de date de vendanges est la résultante des différentes analyses de maturité menées par les équipes ainsi que des nombreuses dégustations de baies menées au vignoble par l'équipe technique. L'objectif est de trouver le compromis idéal entre la maturité recherchée et le rapport sucres/acides, une bonne extractibilité des anthocyanes des pellicules ainsi qu'une maturité phénolique permettant de faire un vin de garde.

Une même parcelle pourra ainsi être divisée en plusieurs zones de vendange.

La décision de date de vendanges tient compte de plusieurs paramètres externes. Ainsi une arrivée de pluie peut modifier la décision de vendanger. La main d'œuvre est également un facteur déterminant, Château Margaux doit pouvoir mobiliser vite ses 200 vendangeurs. La propriété étant intégralement vendangée à la main, il est d'autant plus nécessaire d'être prévoyant concernant les débuts de vendange de chaque parcelle pour ne pas être dépassé.

L'état sanitaire et la pression en maladie peuvent intervenir dans le processus de décision, un risque de dégradation de la qualité des baies peut accélérer le processus de décision. A l'inverse, une vendange saine, comme dans le cas du millésime 2022, pourra atteindre sa pleine maturité sans devoir se soucier de ce risque.

Ce millésime étant particulièrement précoce et chaud, les vendanges ont commencé exceptionnellement tôt : le 18 août pour les blancs et le 8 septembre pour les rouges. Les dernières parcelles furent vendangées le 28 septembre.

1.3.2 Description et discussion des méthodes de vinification

1.3.2.1 Vinification des vins blancs

1/Réception de la vendange

Un premier tri de la vendange est effectué à la vigne par les vendangeurs, les baies séchées et/ou touchées par les maladies sont éliminées.

Les grappes sont ensuite placées dans des cagettes de 5 kg avant d'être acheminées par camions vers le chai des blancs. La contenance des caisses est limitée afin d'éviter le tassement des grappes et un écrasement avant le pressurage qui conduiraient à une oxydation prématurée des jus.

Une fois arrivées devant la ligne de réception de la vendange, les cagettes sont pesées afin d'obtenir une masse approximative de raisins vendangés, et donc un rendement. Une cuve au volume approprié est associée à la vendange arrivée.

Un opérateur décharge les cagettes sur une table vibrante où un nouveau tri manuel a lieu afin d'enlever les baies non désirées et les débris végétaux.

La table de tri conduit les raisins dans une machine à refroidissement utilisant l'évaporation d'azote liquide, une fois ressortis les raisins sont à une température de 8°C.

L'abaissement de température est conseillé pour le cépage Sauvignon Blanc afin d'obtenir un meilleur profil aromatique et limiter l'oxydation des moûts. (Marais., 1998)

Les raisins sont acheminés vers l'un des quatre pressoirs par l'intermédiaire d'un tapis élévateur.



Figure 15 : Photographies de la chaîne de réception de la vendange blanche. Images personnelles.

2/Pressurage

Les raisins dans les pressoirs sont répartis et tassés par les ouvriers du chai, le but étant de remplir de manière maximale et homogène chaque pressoir.

Les pressoirs utilisés sont des pressoirs pneumatiques d'une capacité de 25 hL, jusqu'à quatre pressoirs peuvent fonctionner en simultané lors de pics d'arrivées de vendange.

En premier lieu est pompé le jus d'égouttage, issue des jus ayant coulés lors du remplissage du pressoir. Le pH de ce jus est mesuré à l'aide d'une sonde pH-mètre afin de déterminer le pH initial du cycle de pressurage. Commencent ensuite les différents cycles de pressurage prédéfinis par le maitre de chai.

Lors des premiers cycles les montées en pression sont progressives et limitées. En effet, les premiers jus sont plus simples à extraire.

Les rebêches sont limitées au maximum afin d'éviter une sur-trituration entraînant une forte extraction du potassium et donc une élévation du pH (voir tableau 2).

Tableau 2 : Cycles pour le pressurage des raisins blancs.

N° Cycle pressurage	Temps de maintien (s)	Pression (mbar)	Rotations fin de cycle
Egouttage =0			
Initial = 30sec			
1	420	200	
2	420	400	
3	420	600	
4	420	800	1
5	420	200	
6	420	400	
7	420	600	
8	420	800	1
9	300	400	
10	300	600	
11	300	800	
12	300	1000	2
13	240	600	
14	240	800	
15	240	1000	
16	240	1200	
17	240	1400	
18	240	1600	
19	240	1800	
20	240	1900	1
21	420	1800	
22	420	1850	1
23	300	1650	
24	300	1750	
25	300	1850	
26	300	1950	1
27	240	1750	
28	240	1850	
29	240	1950	1

Le delta de pH en se basant sur le pH initial à l'égouttage est un facteur surveillé à la fin de chaque cycle de pressurage. Un opérateur mesure le pH, si le différentiel s'approche de 0,3 alors la décision d'arrêter le pressurage est soulevée. L'objectif est de limiter au maximum les jus faibles en acidité et au pouvoir oxydatif plus élevé.

Lors des derniers cycles les montées en pression sont plus élevées afin de continuer à extraire du jus.

Du SO₂ est ajouté de manière fractionnée tout au long du pressurage, dans la maie, afin d'atteindre 4g/hL de SO₂.

Avant pompage, 0.5 g/hL d'enzymes pectolytiques sont ajoutées dans la maie afin de faciliter le débouillage.

La glace carbonique est ajoutée tout au long du processus afin de limiter l'oxydation des moûts.

En effet, la protection de la vendange vis-à-vis de l'oxydation est l'un des principaux enjeux du pressurage.

L'apport d'oxygène est notamment connu pour dégrader la couleur des moûts. (Chioru *et al.*, 2016)

Ces réactions d'oxydations sont causées par des enzymes nommées oxydases. Les deux polyphénols oxydases majeures sont la tyrosinase, endogène aux raisins, et la laccase qui, elle, est le résultat d'une vendange altérée avec présence de *Botrytis cinerea*.

L'oxydation des moûts peut mener à une déviance des caractères aromatiques, une précipitation partielle des polyphénols et un changement de la couleur initiale du jus. (Claus *et al.*, 2014) (Zimdars *et al.*, 2017)

Des moyens de préventions permettent de limiter cette oxydation :

- Récolte aux heures les plus fraîches de la journée pour réduire l'activité des enzymes.
- Limiter la dégradation des grappes et des baies lors de la vendange, d'où la vendange réalisée manuellement à Château Margaux.
- Réduire au maximum le temps de macération et séparer les jus dès que c'est possible.

Néanmoins, il existe des produits permettant de lutter contre l'oxydation, comme la glace carbonique ou le SO₂ lors de la macération. Sur la vendange la forme métabisulfite est utilisée de manière préférentielle.

L'acide ascorbique n'est quant à lui pas autorisé sur la vendange, bien qu'il le soit sur les vins.

3/Débourbage

L'étape de débourbage consiste à séparer les deux phases de la cuve : les jus clairs des bourbes.

Une fois les jus pompés dans la cuve, cette dernière est placée sous une consigne de température de 12°C maximum. Il est nécessaire d'éviter une montée en température qui déclencherait le début de la fermentation alcoolique.

Les enzymes pectolytiques ajoutées à la maie permettent d'accélérer le dépôt des bourbes dans le bas de la cuve en une nuit.

Le jus clair est séparé des bourbes dans une autre cuve. La turbidité du jus est mesurée, l'objectif est d'atteindre 250 NTU. Afin d'y parvenir, des bourbes fines sont réincorporées au jus. Les bourbes fournissent un apport de lipides nécessaire aux levures durant la fermentation alcoolique, notamment pour la formation de leurs parois. Néanmoins, trop de bourbes pourraient favoriser l'apparition de goûts et de défauts non voulus sur le vin. (Nicolini *et al.*, 2011)

4/Levurage et Fermentation Alcoolique

Généralement, 10 g/hL de LSA (levures sèches actives) sont nécessaires pour le bon déroulement d'une fermentation alcoolique. A Château Margaux, les ensemencements sont faits à 20 g/hL de LSA *Saccharomyces cerevisiae*.

La préparation du levain est une étape à risque puisque les levures sont particulièrement fragiles et un levurage mal réalisé peut perturber l'ensemble du bon déroulement de la FA.

La réhydratation est progressive et du moût est progressivement ajouté afin d'habituer les levures aux concentrations en sucres élevées et ainsi éviter un choc osmotique.

Les levures sont incorporées dans un volume d'eau important à une température de 37°C. A intervalle régulier, un opérateur du chai rajoute un volume de moût afin de rapprocher les températures du levain et du moût.

Le levain est incorporé et s'ensuit un remontage sans aération afin de bien homogénéiser la répartition des levures dans la cuve.

La fermentation alcoolique commence alors, la température de la cuve est fixée à 15°C.

Les densités et températures sont surveillées matin et soir par les équipes afin de vérifier que la fermentation se poursuive normalement.

Les premiers jours la température doit normalement s'élever et la densité baisser de plusieurs points.

Une fois la densité ayant baissé d'environ 20 points, la suite de la fermentation se déroule en barrique. Les températures seront tout autant surveillées lors de la seconde partie de fermentation alcoolique en barrique, la consigne à ne pas dépasser étant de 25°C. Si cette température est atteinte, les équipes utilisent alors un système de refroidissement à serpentins alimenté en eau froide.

En effet, la température est un facteur crucial durant la fermentation des vins blancs, (Molina *et al.*, 2007), certains composés comme les thiols se formant majoritairement avec des températures plus fraîches.

Des bâtonnages sont mis en place à partir de la seconde partie de FA, ceux-ci ont pour but de remettre en contact les lies avec le vin. Les bâtonnages continueront une fois la fermentation finie mais au rythme d'un seul par semaine.

Une fois la densité de 990 atteinte ainsi qu'une analyse de sucres résiduels inférieure à 2 g/L, la fermentation alcoolique sera considérée comme terminée.

Le vin est alors sulfité à 5 g/hL afin d'inhiber le déclenchement d'une fermentation malolactique.



Figure 16 : Photographie de la préparation du levain.
Image personnelle.

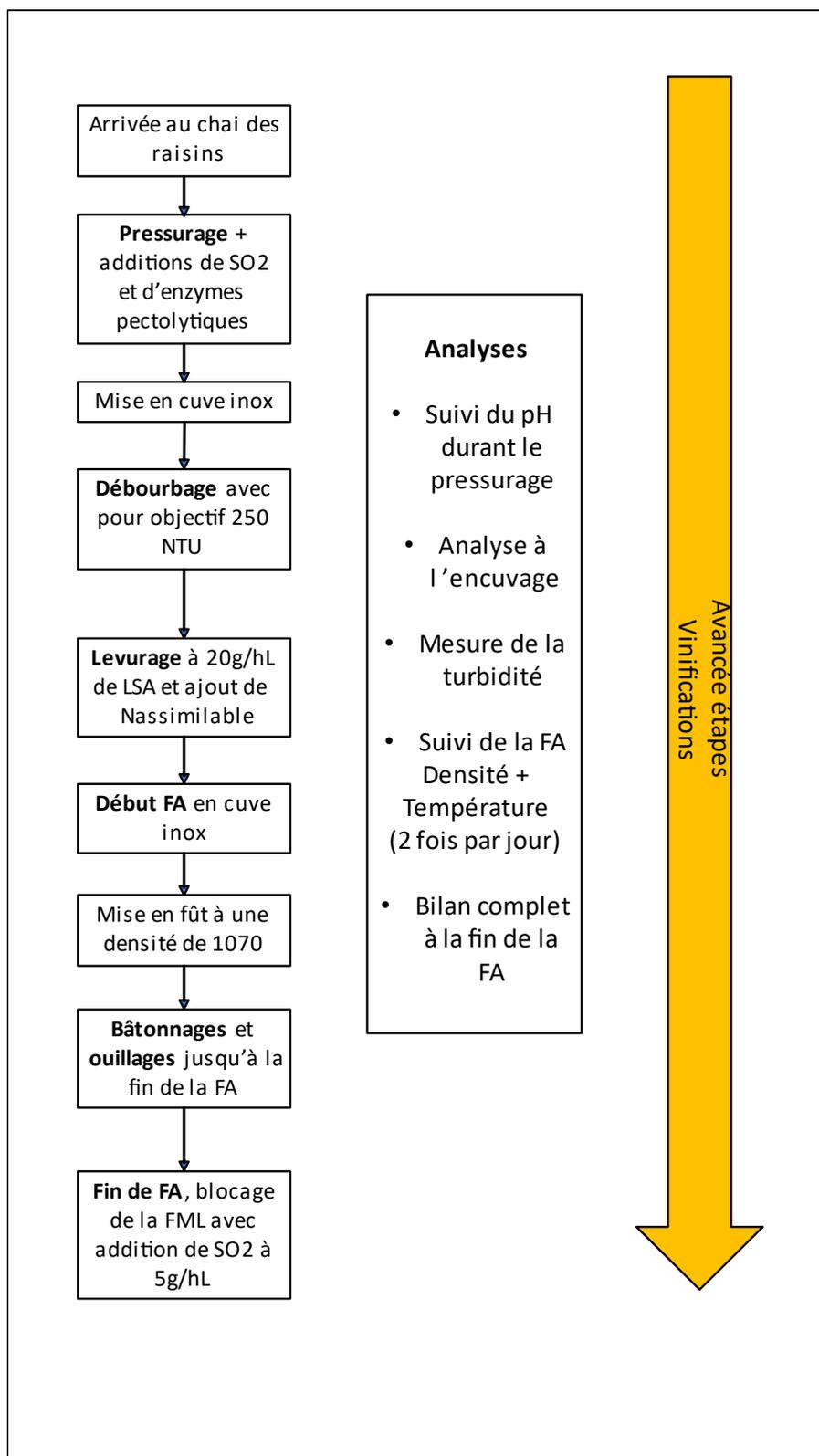


Figure 17 : Schéma de vinification des vins blancs.

1.3.2.2 Vinification des vins rouges

1/Réception de la vendange

De la même manière que les blancs, les raisins rouges sont vendangés entièrement à la main dans des cagettes de 5kg. Le millésime 2022 ayant été touché par une sécheresse rare, plusieurs passages de vendanges ont été effectués dans certaines parcelles particulièrement touchées par les conditions extrêmes.

Deux lignes de réception de vendange sont installées en parallèle, à l'entrée de l'ancien chai.

Un opérateur renverse les raisins sur un tapis roulant où un second tri a lieu, l'objectif étant toujours d'enlever les grains secs, touchés par la maladie ou bien les déchets végétaux.

Ce tapis amène les grappes dans un erafloir (modèle SOCMA Le Cube), les baies sont séparées des rafles sans être pressées.

Par la suite, les baies sont foulées et retombent dans un cuvon. Un sulfitage automatique a lieu au niveau de ce cuvon, à partir du poids de raisins présent.

Environ 4 g/hL de soufre sont additionnés aux raisins (6 g/hL si la vendange est particulièrement altérée).

De la glace carbonique est également ajoutée, un nuage protecteur au-dessus des raisins va ainsi se former et les protéger de l'oxygène.

Quand le cuvon, d'une capacité d'une tonne, est rempli, un opérateur l'amène devant la cuve qu'il remplira. Le cuvon va être soulevé au-dessus de la cuve puis s'ouvrir pour remplir la cuve par gravité.

Eviter d'utiliser une pompe permet de limiter la sur-trituration des baies.



Figure 18 : Photographie de la chaîne de réception de vendange des rouges. Image personnelle.

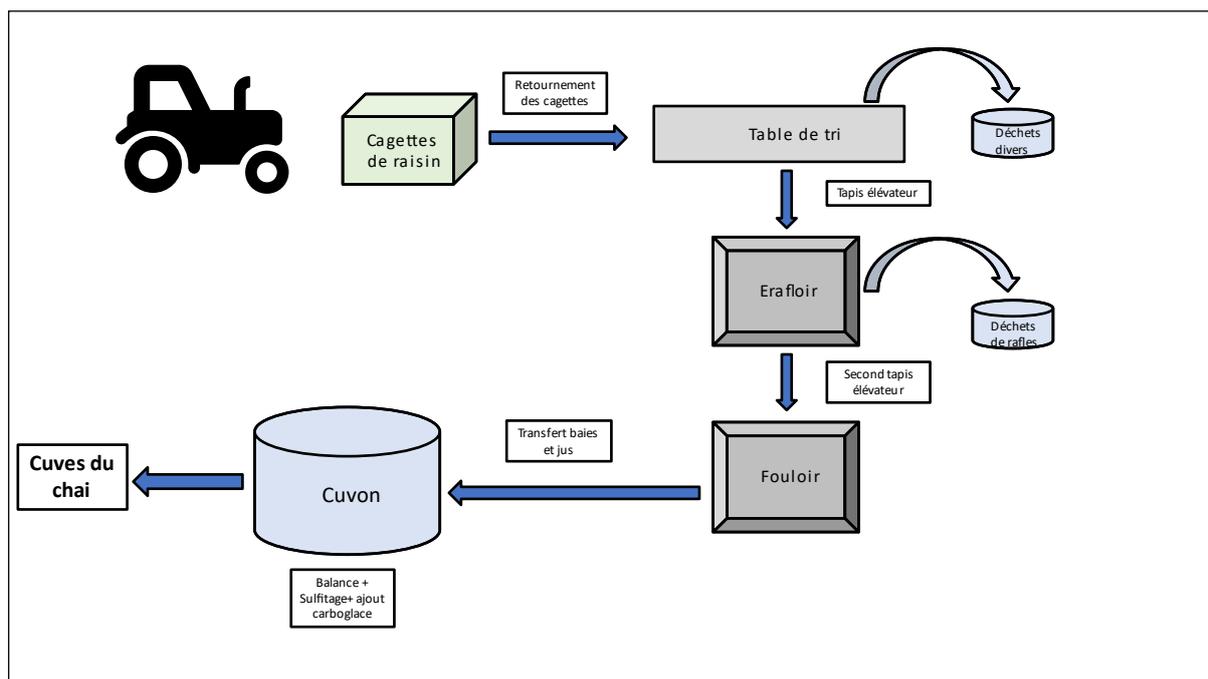


Figure 19 : Schéma de la chaîne de réception de la vendange des rouges.

2/Fermentation alcoolique et cuvaison

Juste après l'encuvage, un remontage homogénéisateur est réalisé. Un prélèvement est réalisé à ce moment afin d'effectuer une analyse de moût et voir si le moût est carencé en azote assimilable et ainsi pouvoir apporter les corrections nécessaires.

Le lendemain de l'encuvage, les levures sont ajoutées au moût. La souche de LSA utilisée est la *Saccharomyces cerevisiae* 522 DAVIS.

Comme expliqué précédemment, la préparation du levain est minutieuse. D'abord ajouté dans un volume d'eau, le moût n'est rajouté qu'au fur et à mesure afin de ne pas créer de chocs au vu des niveaux de sucres présents.

Comme pour les blancs, les levures sont ajoutées à un taux de 20 g/hL lors de ce remontage.

Les ajouts d'azote sont réalisés en deux fois dans la première partie de la fermentation alcoolique. L'azote ajouté est sous forme minérale et organique. On considère un moût comme carencé s'il présente un taux d'azote assimilable inférieur à 140 mg/L, ici, le chai vise une concentration optimale de 180 mg/L.

Lors de millésimes avec des taux d'alcools faibles et des concentrations phénoliques insuffisantes des saignées ou des chaptalisations peuvent être effectuées en début de fermentation. Ce n'est pas le cas du millésime 2022 où, à l'inverse, la problématique fut de limiter une sur-extraction en limitant le nombre de remontages.

Durant toute la durée de la FA, les équipes du chai contrôlent la densité ainsi que la température de la cuve. La fermentation alcoolique dure environ une dizaine de jours et est considérée comme aboutie quand la densité tend vers 0.995 et que le taux de sucres résiduels est descendu sous la barre des 2 g/L.

Le contrôle de la température est nécessaire, en effet une température trop élevée risque de tuer les levures et freiner la fermentation tandis qu'une température trop basse pourra diminuer l'activité des levures et mener à une fermentation languissante.

Les cuves inox sont équipées de ceintures permettant de réguler les températures. Le maître de chai a notamment à sa disposition un tableau de bord lui indiquant l'ensemble des températures des cuves de son chai, il peut ainsi décider de refroidir ou réchauffer une cuve en fonction de la situation.

Les cuves en bois ne sont quant à elles pas équipées d'un tel système, la régulation ne peut avoir lieu que lors de remontages grâce à un échangeur tubulaire (figure 20).



Figure 20 : Photographie d'un échangeur tubulaire. Image personnelle.

L'un des enjeux majeurs lors de la cuvaison est la gestion de l'extraction des composés phénoliques, en particulier les tanins et les anthocyanes.

Afin de réaliser une extraction douce, Château Margaux met en place des remontages.

Ceux-ci sont réalisés une à deux fois par jour, en fonction de l'avancement de la fermentation de la cuve, du cépage et des paramètres chimiques du moût en fermentation.

D'une durée proportionnelle à la volonté d'extraction voulue par le maître de chai, le volume maximum remonté est égal au volume de la cuve (sur un remontage).

Tous les cépages ne nécessitent pas les mêmes nombres de remontages, par exemple aucun remontage n'est effectué sur le Petit Verdot, cépage riche en composés phénoliques.

Quand la fermentation alcoolique touche à sa fin, les remontages s'arrêtent, une sur-extraction des composés phénoliques n'est pas voulue.



Figure 21 : Photographie de l'opération du remontage. Image personnelle.

L'extraction des composés phénoliques peut être suivie grâce aux mesures de WineXRay. Grâce à cet outil il est possible de suivre l'évolution en polyphénols totaux, en tanins et en anthocyanes totaux dans les moûts en fermentation.

Une fois la fermentation alcoolique terminée, deux possibilités s'offrent à l'équipe technique. Soit la cuve peut être laissée en macération post-fermentaire, soit la décision de l'écouler peut être décidée. Tous les jours, l'équipe technique se réunit en salle de dégustation afin de déguster les cuves sèches (moins de 2 g/L de sucres résiduels). En fonction du millésime, des paramètres analytiques, du cépage et de l'historique de la parcelle dans la cuve l'équipe technique pourra décider d'écouler le jour-même une cuve.

3/Écoulage et pressurage

L'écoulage consiste à séparer la partie liquide du marc présent dans la cuve. Le moût s'écoulant sans intervention, le jus de goutte, est transféré directement dans une autre cuve ou dans des anciennes barriques.

Le marc est lui sorti de la cuve par un opérateur et une fois pressé donnera le jus de presse.

Les jus de goutte sont classés en plusieurs qualités par l'équipe technique, celles-ci vont de A à D. Ils seront répartis entre les différents vins de la gamme : Grand Vin, Pavillon Rouge, Margaux ou en vrac.

L'opération consistant à enlever le marc de la cuve et le transférer dans un pressoir nécessite plusieurs travailleurs du chai. Une fois le maximum de CO₂ enlevé grâce à un extracteur, un opérateur rentre dans la cuve afin de charger de marc un tapis roulant allant directement dans le pressoir. Un autre opérateur lance le pressoir qui suivra un programme pré-enregistré. Plusieurs qualités de vins de presse sortiront des différents cycles de pressurage : P1, P2 et P3 (la P3 étant réservée aux qualités de marc A). Les qualités des presses sont notées de A à D, comme pour les jus de goutte.



Figure 22 : Photographies des écoulements et du pressurage. Images personnelles.

Une fois l'ensemble des jus de goutte et de presse en cuve ou en barrique, la fermentation malolactique peut alors débuter.

4/Fermentation malolactique

La FML (Fermentation malolactique) est une fermentation durant laquelle l'acide malique du vin va être transformé en acide lactique par l'intermédiaire de bactéries lactiques.

L'ensemble des vins rouges de Château Margaux réalisent une FML, ils sontensemencés avec une souche commerciale d'*Oenococcus oeni* à 1g/hL.

Cette fermentation, bien que non obligatoire, permet de stabiliser le vin d'un point de vue microbiologique tout en l'assouplissant en bouche et lui conférant des arômes plus ronds.

La température est un facteur prépondérant pour le bon déroulement de la FML, une température de 20°C minimum est requise.

Les cuves inox ont leurs ceintures permettant une régulation optimale de la température tandis que les barriques sont placées dans une pièce fermée où la température est constamment surveillée.

La FML est considérée comme finie quand la concentration en acide malique passe sous le seuil de 0.2 g/L. Il est ainsi possible de suivre le déclenchement et l'évolution de la FML depuis le laboratoire de Château Margaux à partir des mesures d'acide malique et d'acide lactique.

Une fois la FML terminée, les vins sont sulfités à 6 g/hL afin de les protéger en vue de l'élevage. Les vins sont ensuite entonnés et rejoignent le chai de 1ere année, l'élevage commence.

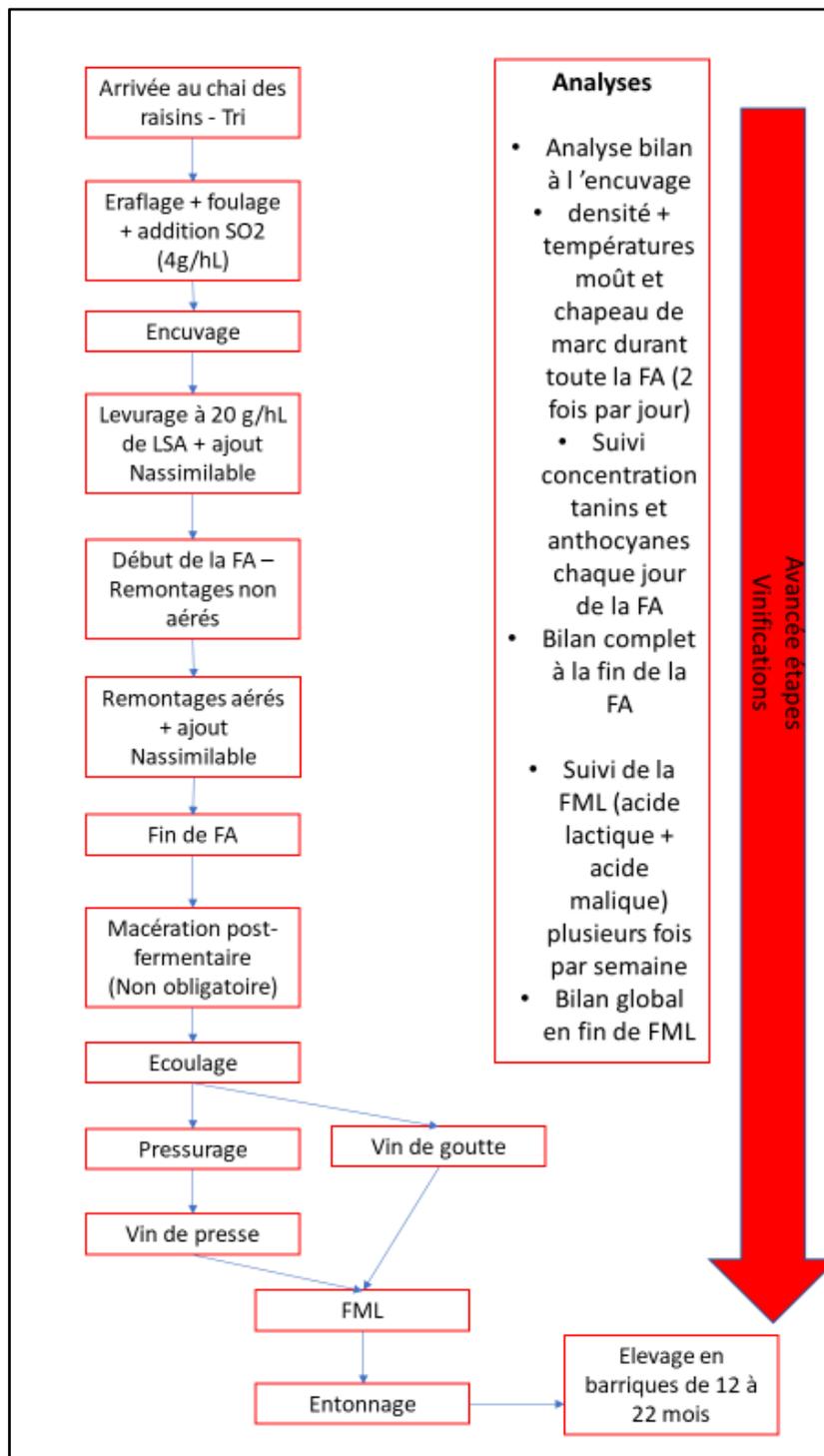


Figure 23 : Schéma de vinification des vins rouges.

1.3.3 Etude du R’Pulse : étude d’une cinétique fermentaire

Pour la seconde année, le pôle R&D de Château Margaux a mené l’essai R’Pulse afin de le mettre en comparaison avec les remontages classiques au sein de la propriété. Déjà mené en 2020, l’essai a été repris pour le millésime 2022.

Le R’Pulse est une machine développée par Joel GALLET qui permet de réaliser une mise en suspension des baies et une extraction douce tout en gagnant du temps par rapport à un remontage classique.

La machine est reliée à deux tuyaux, l’un qui aspire l’air et qui est placé dans l’espace de tête de la cuve tandis que l’autre souffle l’air dans le contenu de la cuve, dans le moût. Tous les types de gaz peuvent être utilisés avec le R’Pulse (air, CO₂, azote).

Le gain de temps par rapport à un remontage classique est significatif puisqu’une aération par R’Pulse ne dépasse jamais quelques minutes d’utilisation.



Figure 24 : Photographie du R’Pulse. Image personnelle.

Cette technologie nouvelle se développe de plus en plus dans de nombreux Crus Classés bordelais, dont certains l’ont même intégré en production.

L’essai est réalisé à partir de raisins des parcelles Brown. Les rangs sont vendangés en parallèle afin de remplir les deux cuves de manière homogène et ainsi ne pas créer de biais initial.

Le cépage est du Cabernet-Sauvignon et la surface totale vendangée est de 1.8 ha.

Environ 2115 kg de vendanges sont incorporés dans chaque cuve. La vendange est au préalable triée, éraflée puis foulée.

La fin de la vendange et l’encuvage eurent lieu le 23 septembre à 18h.

Les deux cuves sont les C41 et C45. La C41 sert de témoin et est traitée classiquement en utilisant les remontages tandis que la C45 n’aura aucun remontage classique pratiqué mais seulement le R’Pulse.

Les deux cuves utilisées pour l’essai sont identiques et ont une contenance de 47 hl.

Les différentes opérations de remontages et de R’Pulse sont détaillées dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Tableau des opérations de l'essai.

Date	Heure	Cuve C41 (Témoïn remontage)			Cuve C45 (R'Pulse)		
		Opération	Temps (min)	Débit (hL/h)	Opération	Temps (min)	Commentaire
24/09	9h45	Remontage Homogénéisation	40	70	Homogénéisation	10	5 piquages
25/09	8h35	Remontage	15	70	R'Pulse	3	5 piquages
26/09	8h35	Remontage	12	70	R'Pulse	1	Milieu cuve
26/09	16h50	Remontage	5	70	R'Pulse	1	
27/09	8h50	Remontage	7	70	R'Pulse	1	
27/09	16h30	Remontage	3	70	R'Pulse	2	Aspiration hors de la cuve
28/09	9h05	Remontage	5	70	R'Pulse	3,30	Aspiration hors de la cuve
28/09	16h40	Remontage	5	70	R'Pulse	1,40	Aspiration hors de la cuve
29/09	8h35	Remontage	8	70	R'Pulse	2,20	4 piquages
30/09	8h45	Remontage	5	70	R'Pulse	1	
10/10		Ecoulage		Transfert Cuve 84	Ecoulage		Transfert Cuve 82
13/10	15h00	Inoculation			Inoculation		

Les temps d'utilisation du R'Pulse ainsi que le nombre de piquages dans le chapeau de marc sont variables, l'équipe technique décide avant chaque utilisation s'il faut freiner ou continuer l'extraction dans la cuve.



Figure 25 : Photographie du R'Pulse en cours d'utilisation. Image personnelle.

Comme les paramètres initiaux sont censés être identiques, une analyse en laboratoire des différents paramètres à l'encuvage a été réalisée.

Tableau 4 : Tableau de résultats d'analyses à l'encuvage des deux modalités.

Paramètre	Cuve C41 (remontage)	Cuve C45 (R'Pulse)
TAVP (%)	14,2	14,1
Sucres fermentescibles (g/L)	243,1	240,7
pH	3,59	3,56
Acidité totale (g/L H ₂ SO ₄)	3,08	3,06
Acidité L-Malique (g/L H ₂ SO ₄)	1,13	1,11
SO ₂ Total (mg/L)	88	88
SO ₂ libre (mg/L)	31	29
Azote assimilable (mg/L)	134	116

Excepté une légère différence sur les taux d'azote assimilable, qui seront corrigés par les ajouts en début de fermentation, nous voyons que les paramètres des deux moûts à l'encuvage sont similaires.

Étude des composés d'intérêt

Les composés phénoliques

D'un point de vue chimique, les polyphénols sont composés de plus d'un cycle phénolique. Ces derniers sont formés d'un cycle aromatique hydrocarboné relié à un ou plusieurs groupements hydroxyles (-OH).

Ces derniers sont liés à de nombreuses propriétés des vins rouges telles que :

- le goût, l'astringence et l'amertume (tanins)
- les odeurs (vinyl-phénols par exemple)
- la couleur (anthocyanes, pigments).

Les polyphénols sont localisés dans trois compartiments de la baie de raisins : la pellicule, la pulpe et les pépins. Leur concentration est d'environ 170 mg/L pour un vin blanc et 1083 mg/L pour un vin rouge. (Flanzy, 1998)

Cette famille comporte plus d'un millier de composés phénoliques (Li et Sun, 2019) et les variétés structurales sont variées. Les mono-phénols peuvent avoir des structures inférieures à 100g/mol tandis que des polyphénols hautement polymérisés peuvent dépasser les 30 000g/mol.

Se formant pendant la phase de maturation du raisin, les polyphénols vont avoir un rôle moteur dans les stratégies d'extraction une fois le raisin vendangé. (M. Chevalier *et al.*, 2003)

Deux grandes familles se distinguent au sein des polyphénols, les composés non-flavonoïdes et les composés flavonoïdes.

Les composés non-flavonoïdes

Cette grande famille de polyphénols contient des acides phénols (acides hydroxybenzoïques, acides hydroxycinnamiques), des phénols volatils ou bien d'autres composés comme le resvératrol (classe des stilbènes) ou le tyrosol.

Les resvératrols (figure 26) sont notamment connus pour leurs fortes propriétés antioxydantes. (Frémont, 2000)

Cette propriété a conduit à de nombreuses études en lien avec une prévention des maladies cardiovasculaires chez l'humain.

Les teneurs en resvératrol du raisin peuvent augmenter en cas de contamination microbienne du raisin, en particulier en cas de contamination par *Botrytis cinerea*. (Adrian *et al.*, 1997) (Langcake et McCarthy, 1979)

Chez *V. Vinifera*, ce composé est juste présent dans la pellicule du raisin et est extrait durant la période de cuvaison pendant les vinifications en rouge.

Le type de cépage joue également un rôle important dans les concentrations en resvératrol. (King *et al.*, 2006)

Néanmoins, les composés non-flavonoïdes ne sont pas étudiés dans le cas de l'expérimentation R'Pulse.

Les composés flavonoïdes

Les composés flavonoïdes possèdent une structure de base de deux cycles aromatiques reliés par trois carbones en C6 – C3 – C6. Les structures sont basées sur celle du phényl-2 benzopyrone.

On distingue trois grandes familles dans les flavonoïdes :

- les flavonols
- les flavanols
- les anthocyanidines

Il existe également d'autres classes comme les flavones, flavanones et les flavan-3-ols.

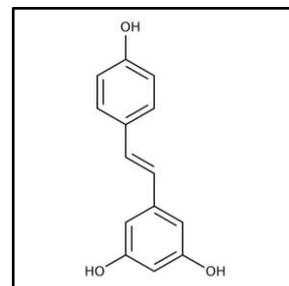


Figure 26 : Dessin d'une molécule de resvératrol.
Source : fishersci.fr

Dans cette famille, les anthocyanes et les tanins seront les composés qui seront le plus intéressants à suivre dans le cadre de l'essai R'Pulse.

Les anthocyanes sont des composés retrouvés sous la forme glycosylée dans le raisin. On en retrouve vingt formes différentes dans le raisin.

Les anthocyanes vont notamment donner la couleur aux raisins noirs (Glories, 1984), elles sont ainsi localisées dans les pellicules des baies de raisins, au niveau des vacuoles. (Darné, 1991)

L'ion flavylium est responsable de la couleur des vins, celui-ci forme un équilibre avec d'autres molécules.

Ces molécules vont interagir dans le vin avec d'autres molécules, les tanins notamment, et ainsi former des composés colorés d'une plus grande stabilité. Des pigments dérivés vont ainsi se former (pyranoanthocyanes, tanin-anthocyane).

Ces composés vont se former lors des étapes de macération et d'élevage/vieillessement du vin. C'est pourquoi la couleur du vin est en constante évolution.

Les tanins sous la forme de tanins condensés (ou proanthocyanidines) jouent un rôle déterminant dans la stabilisation de la couleur des vins rouges.

Les catéchines (voir figure 27) sont la forme la plus commune des flavanols.

En fonction de la substitution sur les noyaux, nous pouvons retrouver quatre stéréo-isomères différents :

- gallocatéchine
- epigallocatéchine
- catéchine
- épicatechine.

Ces composés ont la particularité de pouvoir se polymériser entre eux par des liaisons interflavanes (en C4-C6 ou C4-C8).

Ces oligomères forment les tanins condensés. Ainsi, il existe une très large diversité de tanins (proanthocyanidines).

Ils sont présents sous des formes différentes dans la pellicule et les pépins. Ceux présents dans les pépins nécessitent de l'alcool afin de se libérer alors que les tanins présents dans les pellicules se diffusent assez rapidement en phase liquide.

Ces tanins condensés ont une importance primordiale dans le cadre du processus de vinification puisqu'ils vont jouer sur l'astringence et l'amertume du vin. (Mirabel, 2000)

Ils vont également être impliqués dans de nombreuses interactions au cours de l'élevage du vin. Le vin va s'assouplir et perdre en astringence avec le temps.

En interagissant avec des protéines, les tanins condensés vont intervenir dans des phénomènes colloïdaux. (Schmauch, 2010)

Il est nécessaire de bien différencier les tanins condensés du raisin (flavanols) des tanins hydrolysables (gallotanins et ellagitanins).

La stabilisation de la couleur

Le vin est un milieu qui a de multiples interactions avec son environnement : oxygène, contenant, SO₂, composés chimiques environnants.

Les polyphénols vont donc rentrer en interaction avec l'ensemble de ces éléments au cours de l'évolution du vin.

Deux types de liaisons pourront se former : par simple électrostatie (des colloïdes se forment alors) ou par le biais de liaisons covalentes (condensation avec les tanins, ponts qui se forment).

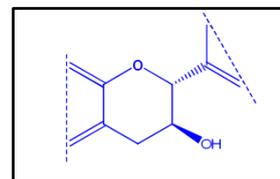


Figure 27: Dessin d'une molécule de catéchine.

Par exemple, des modifications de couleur pourront s'effectuer par les interactions entre anthocyanes et métabolites de levures (acétaldéhyde, pyruvate durant la fermentation, vinyl phénol, vinyl flavanol ou acide caféique durant l'élevage). Des pyranoanthocyanes très stables vont se former. (Figure 28)

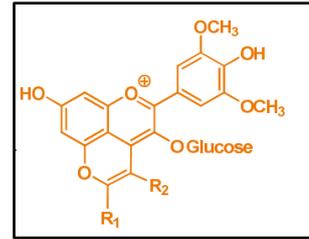


Figure 28: Dessin d'une molécule de pyranoanthocyanine.

Les anthocyanes pourront également interagir avec les sulfites et subir une décoloration partielle. Un équilibre se formera entre la forme flavylum rouge et un adduit bisulfite incolore. (Jurd, 1964)

Des stabilisations de couleurs par des liaisons avec des tanins de type catéchines ont lieu. Ces liaisons sont de natures covalentes et peuvent se faire de manière directe ou indirecte :

- de manière directe par la réaction d'un tanin nucléophile et d'un anthocyane électrophile (A-T ou T-A).
- de manière indirecte, par l'intermédiaire d'une petite molécule ayant une fonction aldéhyde, jouant un rôle de pont, et ce en présence d'oxygène (T-x-A).

Les différentes méthodes traditionnelles d'extraction en rouge

Une fois le raisin en cuve, la période de la cuvaison démarre. Durant celle-ci, le moût qui effectue sa fermentation alcoolique va voir un chapeau de marc se former à sa hauteur.

Formé de matières solides, les peaux de raisins notamment, celui-ci va relarguer de nombreux composés dans le moût et son interaction avec celui-ci va être primordial pour l'élaboration d'un vin rouge. (Bourzeix *et al.*, 1970)

Néanmoins, l'entièreté du chapeau n'est pas en contact avec le moût, les extractions de composés n'atteignent donc pas l'ensemble de leurs potentialités. Une piqure acétique peut également apparaître par l'intermédiaire d'un développement des acétobacters au niveau du chapeau de marc sec. (Ribéreau-Gayon, 1999)

Une intervention humaine est donc nécessaire afin de remettre en contact le jus avec le chapeau solide. Différentes méthodes existent et toutes ne présentent pas les mêmes caractéristiques (Setford *et al.*, 2017).

Le pigeage

La technique du pigeage est très répandue en Bourgogne. (Bal, 2014) Un opérateur se charge de casser le chapeau de marc et de le plonger dans le moût en cours de fermentation. Les baies seront dégradées par l'action mécanique les plongeant dans le jus.

Pour cela une surface plane en inox ou en bois surmontée d'une tige est utilisée.

Effectué traditionnellement à la force de l'opérateur, de nouvelles technologies de pigeurs pneumatiques de déplaçant sur rails ont vu le jour. Des cuves où le pigeage automatique a été intégré ont également été développées.

En fonction du vin que l'on peut obtenir, il est possible d'effectuer plusieurs pigeages par jour comme les espacer dans le temps L'intensité de la force exercée lors de l'opération va également jouer sur l'extraction des composés dans le vin.

Cette méthode d'extraction peut s'avérer coûteuse en temps et en main d'œuvre.

Le délestage

Dans le cadre de cette technique, l'ensemble du moût est pompé et est transféré dans une autre cuve. Il y a donc une séparation du moût et du chapeau de marc pendant quelques heures (de 2 à 6 heures en général).

Le chapeau va s'effondrer et se tasser au fond de la cuve à la suite du pompage et va libérer un jus riche en sucres et polyphénols.

Le moût initialement transféré est de nouveau pompé par un remontage dans sa cuve initiale et vient arroser le chapeau de marc présent dans la cuve.

Au contact du chapeau, le moût va s'enrichir en sucres et en polyphénols.

Bien que convaincante sur les profils de vins obtenus, avec des tanins ronds, l'opération s'avère complexe à réaliser. Il est nécessaire de mobiliser des moyens de cuverie importants.

Le remontage

Cette méthode est la plus couramment utilisée par les propriétés viticoles. Elle consiste à pomper les jus au bas de la cuve et les asperger sur le chapeau de marc, en haut de la cuve.

Le moût va traverser le chapeau et s'enrichir en composés de types tanins et polyphénols.

Les vins peuvent être versés par l'intermédiaire d'un opérateur tenant un tuyau et guidant la trajectoire manuellement ou bien par un asperseur qui arrose le chapeau en tous points.

En fonction du vin voulu, la fréquence et la durée du remontage peuvent être variables. Plusieurs variables sont à prendre en compte dans la stratégie des remontages à effectuer : propriétés du millésime, cépage, sensibilité du vin à l'oxydation.

Quand la maturité est bonne, les volumes remontés sont croissants durant la période de fermentation alcoolique.

Certaines cuves possèdent la technologie de remontage automatique intégrée, permettant un gain de temps et de main d'œuvre pour des résultats proches d'un remontage classique. (Colagrande, 1981)

Résultats

La densité et les températures ont été mesurées chaque jour, le matin et le soir, afin de suivre le bon déroulement de la fermentation alcoolique et également voir si une différence entre les deux cuves apparaissait.

Les résultats de ces suivis sont visibles sur la figure 29 ci-dessous.

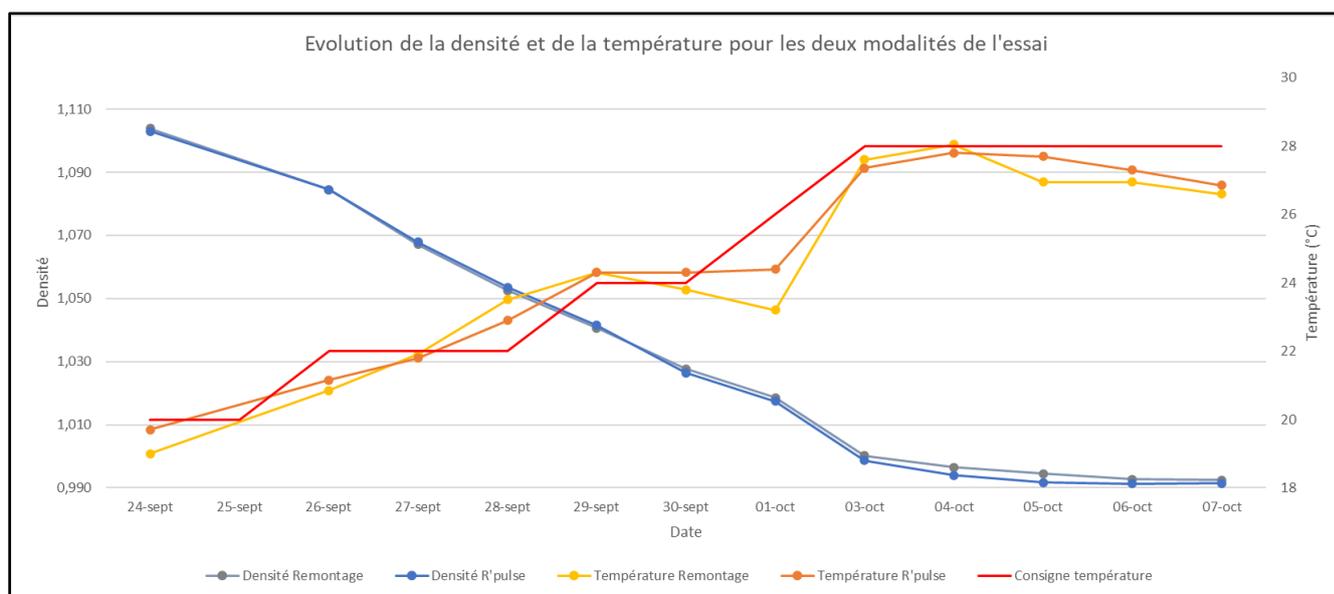


Figure 29 : Graphe d'évolution de la densité et de la température en fonction de la modalité.

Les deux cuves, celle en remontage classique et celle en R’Pulse, ont démarré leurs fermentations de manière simultanée (voir figure 29). La cuve R’Pulse a néanmoins fini légèrement plus vite sa fermentation et a atteint un plateau avant la cuve en remontage.

Pour les deux cuves, la phase de latence, correspondant à la multiplication des levures, est peu marquée et la fermentation a commencé assez vite.

La fermentation aura duré environ 10 jours pour les deux cuves.

L’essai R’Pulse avait déjà été mené lors du millésime 2020, toujours avec une modalité R’Pulse et une modalité en remontage classique.

Lors de cette expérimentation un retard sur le départ de la fermentation avait été constaté pour la modalité R’Pulse. Ce décalage était dû à une première utilisation trop courte sur le moût à l’encuvage, l’homogénéisation ne s’est pas correctement faite. Ce brassage avait duré deux minutes, lors du millésime 2022 la première utilisation du R’Pulse a été allongée à dix minutes.

Ce brassage de dix minutes aura donc été équivalent au remontage d’homogénéisation de 40 minutes.

Concernant les températures, une hausse est constatée tout au long de la fermentation. Cette hausse de température, classique dans le cadre d’une fermentation (Beltran *et al.*, 2008) va jouer sur la qualité de l’extraction ainsi que sur la bonne santé des levures. Sur la majeure partie de la fermentation alcoolique, la température dans la cuve C45 (R’Pulse) est supérieure à celle de la cuve en remontage classique.

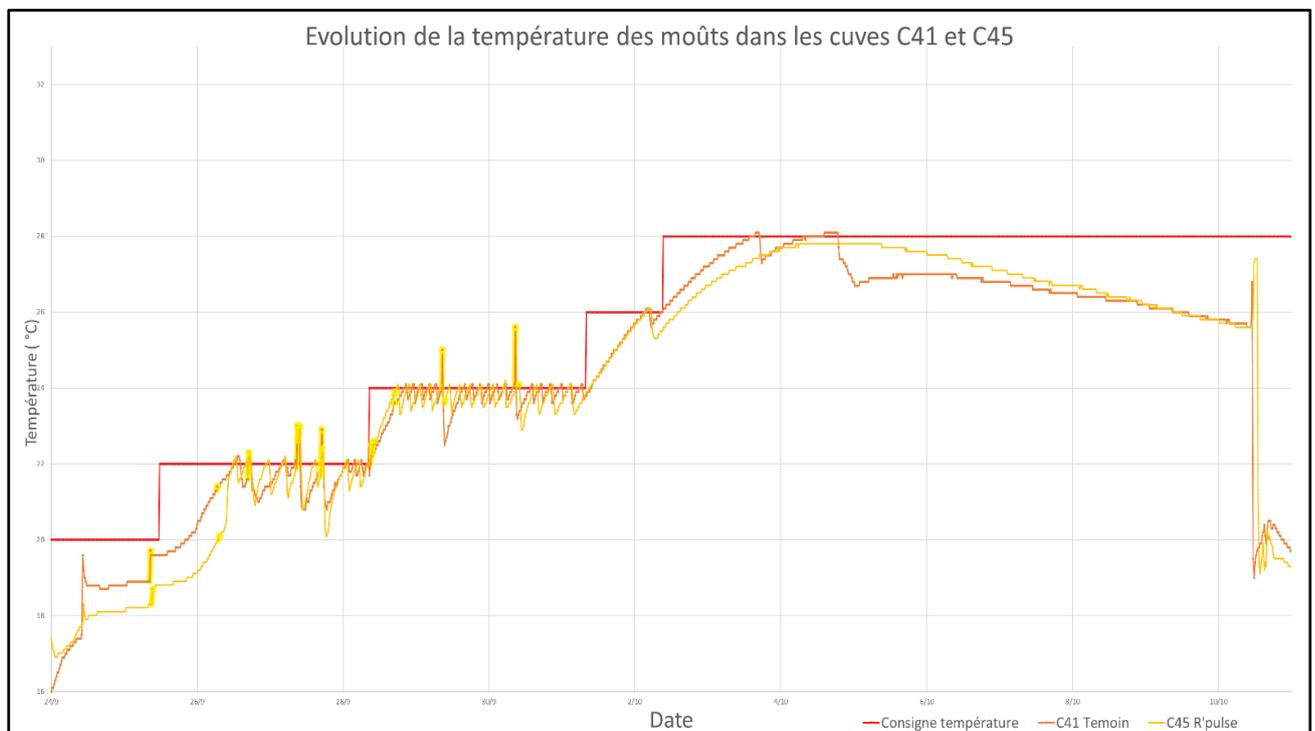


Figure 30 : Graphe d’évolution de la température des moûts pour les deux modalités.

En plus des mesures manuelles de températures réalisées sur les deux cuves, des sondes présentes dans les cuves prennent automatiquement des mesures de température toutes les 20 minutes.

Sur la figure ci-dessus les opérations de remontage sont indiquées par les colorations en jaune brillant.

On remarque que les augmentations de température sont plus importantes dans le cas de la Cuve 41 (remontage classique). Les remontages réchauffent davantage le moût que les pulsations du R’Pulse.

Lors du premier tiers de la FA, les températures moyennes de la cuve témoin sont en moyenne plus élevés de +0.8°C. L’écart maximal de température est le 26/09 (3 jours après l’encuvage) avec un différentiel de +1.5°C pour la cuve en remontage.

Ce phénomène peut être expliqué par le temps de contact entre la phase solide et la phase liquide qui est plus important lors d'un remontage classique que lors d'une utilisation de R'Pulse.

1.3.4 Etude du R-Pulse : bulletin œnologique

Tout au long de la fermentation alcoolique et jusqu'à l'écoulage, les mesures d'extractions de tanins et d'anthocyanes ont été suivies avec beaucoup d'attention. Pour cela le WineXRay a permis de mesurer ces indicateurs après chaque opération de remontage pour la Cuve 41 et chaque utilisation de R'Pulse pour la cuve 45.

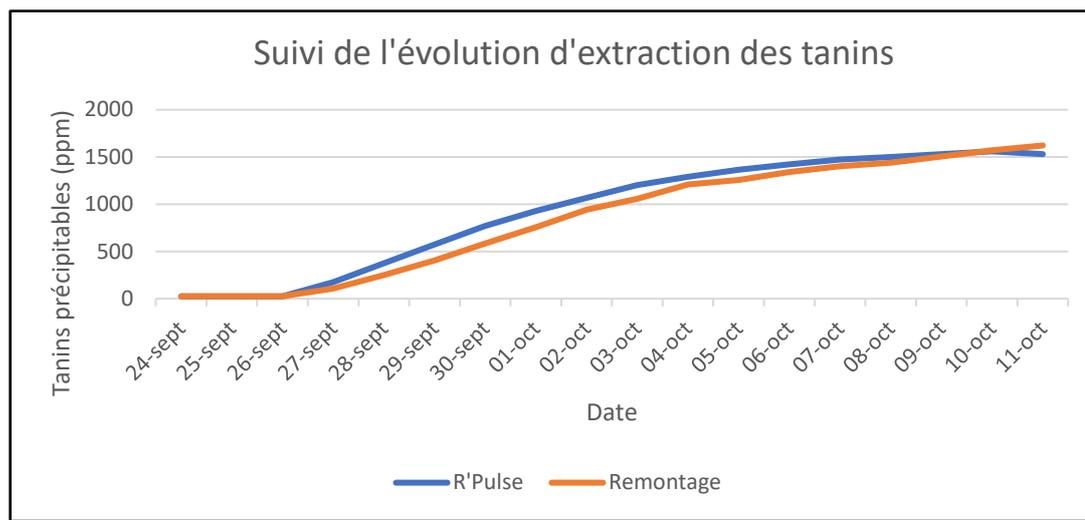


Figure 31: Graphe de suivi de l'évolution d'extraction des tanins en fonction de la modalité.

La courbe de suivi de l'extraction des tanins (figure 31) nous indique que l'extraction n'a débuté qu'à partir du quatrième jour de la cuvaison. En effet, les tanins ne s'extraient qu'à partir d'une certaine concentration en alcool dans le moût. (Habib, 2020)

Nous constatons que l'extraction totale de tanins précipitables est similaire entre les modalités R'Pulse et remontage classique. Néanmoins, la modalité R'Pulse a commencé plus tôt l'extraction. Elle possède environ un jour d'avance sur les taux de tanins obtenus en remontage classique.

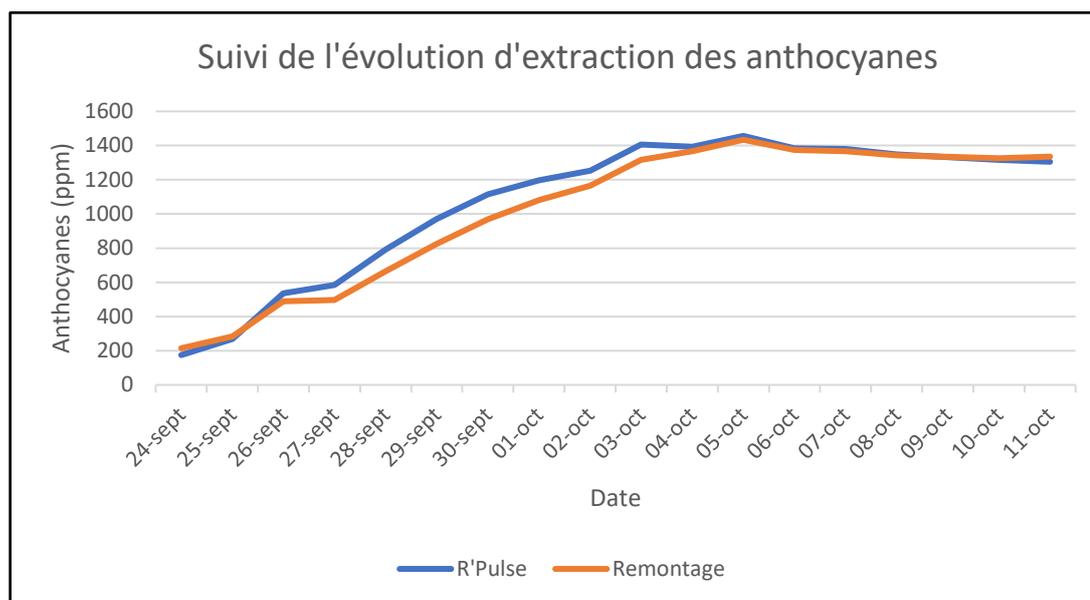


Figure 32 : Graphe de suivi de l'évolution d'extraction des anthocyanes en fonction de la modalité.

Le suivi d'extraction des anthocyanes, comme montré dans la figure 32 ci-dessus, montre que celle-ci commence dès le début de la cuvaison.

L'extraction atteint plus rapidement son maximum pour la modalité R'Pulse, à l'image de l'extraction des tanins.

Sur les derniers jours de cuvaison, les teneurs en anthocyanes (en ppm) baissent légèrement pour les deux modalités. Une partie a été dégradée par l'éthanol, en effet les liaisons des tanins et anthocyanes peuvent être dégradées par l'éthanol.

Afin de mesurer des différences plus fines sur les extractions entre les deux modalités, des analyses faites chez le laboratoire EXCELL ont été effectuées à l'encuvage et juste après l'écoulage pour les modalités remontage et R'Pulse (tableau 5).

Tableau 5 : Tableau des résultats d'analyses à l'encuvage et après écoulage, pour les deux modalités.

	24/09		11/10	
	Remontage	R'Pulse	Remontage	R'Pulse
IPT (IPT DO 280)	17,18	16,82	87	82
Anthocyanes totaux (mg/L eq.malvidine)	92	77	1213	1168
Degré polymérisation	2,37	2,36	5	5,2
% de Tanins proanthocyanidiques	0,6	0,6	5,2	4,8
% de galloylation	0,9	1	4,6	3,7
Indice éthanol (%)	84	83	19	22
Indice gélatine (%)	37	29	55	56
Indice HCL (%)	90	91	20	19

A l'encuvage, nous ne voyons aucune différence significative pour l'ensemble des paramètres étudiés entre les cuves « remontage » et « R'Pulse ».

A l'encuvage, les valeurs d'IPT et d'anthocyanes totaux sont légèrement plus élevées pour la modalité en remontage. Les mesures effectuées à la fin de la fermentation alcoolique indiquent toujours une concentration d'anthocyanes légèrement supérieure mais dans des taux non significatifs.

Les pourcentages de tanins proanthocyanidiques sont similaires à l'encuvage et légèrement supérieurs pour la modalité remontage en fin de fermentation. Une hausse de ce pourcentage indique davantage d'astringence et d'amertume pour le vin.

Une fois la fermentation terminée, nous remarquons toujours des paramètres similaires sauf pour le taux de galloylation. Cette donnée nous indique le pourcentage de monomères présentant un groupement gallate. Un fort degré de galloylation va jouer défavorablement sur l'astringence du vin.

Conclusion

Ainsi, les cinétiques de fermentations furent identiques pour les deux modalités, la fermentation alcoolique s'est bien déroulée dans les deux cas de figures.

Une différence notable a été montrée concernant les températures entre les deux modalités. Le moût possède une température plus basse pour la modalité R'Pulse jusqu'au quatrième jour de fermentation alcoolique. Néanmoins, la température du marc est plus haute et plus hétérogène selon les zones du chapeau que pour la modalité remontage.

Les différences de températures peuvent expliquer la différence d'extraction des anthocyanes pendant le premier tiers de la fermentation alcoolique.

Des séances de dégustations mises en place par l'équipe R&D ont permis de montrer qu'il n'y avait aucune différence significative à la dégustation pour les deux modalités.

Cette expérimentation a donc permis de mettre en valeur la possible utilité du R'Pulse en production. Il est possible de produire un vin aux qualités comparables de celles d'un vin réalisé avec des remontages classiques. Le gain de temps permis par l'utilisation du R'Pulse permet aux équipes de libérer du temps pour d'autres opérations.

1.3.5 Etude de cuves de production : suivis de fermentation et bulletins œnologiques

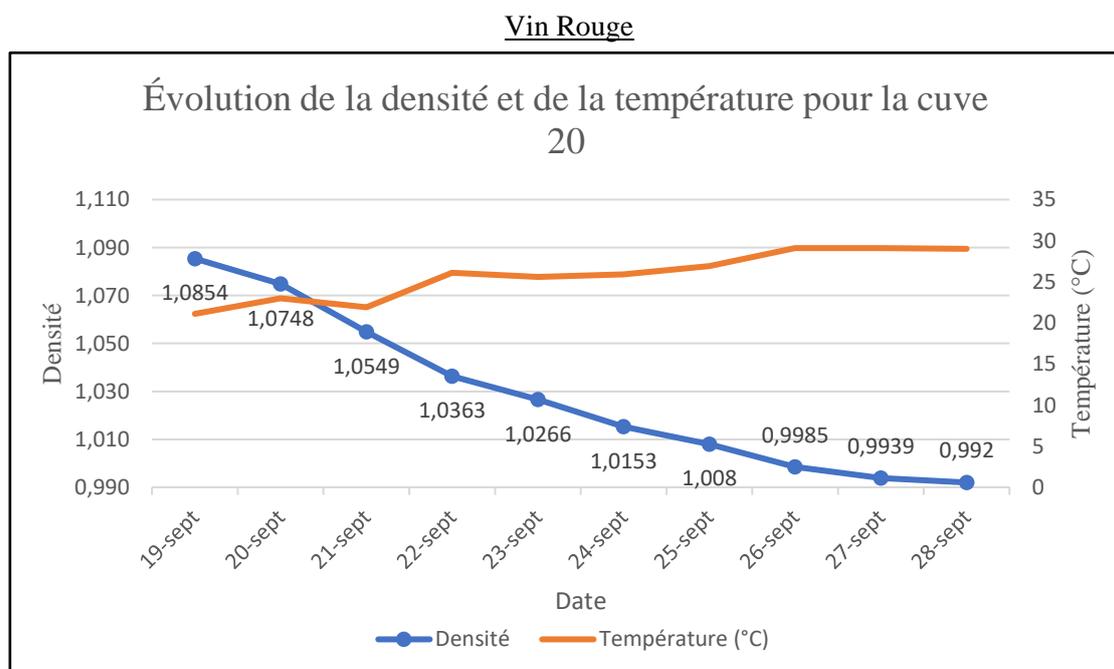


Figure 33: Graphe de suivi de la densité et température de la cuve 20

La parcelle de l'Orangerie est une parcelle de Merlot N où plusieurs expérimentations ont lieu (notamment l'expérimentation Viti-Tunnel). Celle-ci fut vendangée le 16 septembre.

Les suivis de densité et de température furent effectués deux fois par jour.

Après le levurage, effectué le 17/09, nous ne constatons pas de phase de latence nette (voir figure 33).

La densité baisse assez rapidement, les levures sont en phase de croissance. La fermentation atteint sa vitesse maximale à la fin de cette phase de croissances des levures.

Aucun ralentissement de la fermentation n'est constaté et la densité atteint 0,992 après 11 jours de fermentation alcoolique. Les ajouts d'azote et les oxygénations ont été correctement réalisés et ont permis d'éviter une fermentation languissante.

On remarque une montée de la température durant la FA. Cette température atteindra un seuil de 30°C en fin de FA. En effet l'activité des levures augmente au cours de la fermentation, qui dégage de la chaleur.

1er analyse (Interne)		
Param		17 sept 10:15
TAP (%vol) Rdt=17,00		13.9
Densité		1098.5
Température (°C)		20.7
Sucres réducteurs (g/L)		234.77
Acidité totale (g/L H2SO4)		2.82
pH		3.51
Acide L-Malique (g/L)		0.79
Azote assimilable (mg/L)		63
Azote aminé (mg/L)		48
Azote ammoniacal (mg/L)		15

1er analyse (Labo)		
Param		17 sept 00:00
TAP (%vol)		13.86
Glucose + fructose (g/L)		233.2
Sucres réducteurs (g/L)		235.6
Acidité totale (g/L H2SO4)		2.58
pH		3.55
Acide L-Malique (g/L)		0.93
Azote assimilable (mg/L)		64

Figure 34 : Analyses à l'encuvage pour la cuve 20 en interne et en laboratoire

La première analyse, effectuée le lendemain de l'encuvage au sein du laboratoire interne nous permet d'obtenir de précieuses indications concernant le futur vin (figure 34). Une autre analyse est quant à elle réalisée en laboratoire, les résultats y sont similaires, à l'exception d'une acidité totale légèrement plus élevée dans le cas de l'analyses du laboratoire interne.

Celle-ci permet notamment de voir si des ajouts sont nécessaires (notamment d'azote) et de les quantifier.

Le TAP étant de 13.9 % vol, il n'est pas envisagé de chaptaliser la cuve. Ce millésime présente des maturités bonnes et désirées pour la majorité des cépages.

L'acidité totale, ici de 2,82 g/L H₂SO₄ est faible pour un vin rouge. Des processus d'acidification sont possibles (comme les ajouts d'acide tartrique, malique ou lactique).

Ces ajouts sont réglementés, ainsi pour l'acide tartrique la dose maximale d'ajout est de 150 g/hL sur moût et de 250 g/hL sur un vin. Pour un ajout d'acide malique, la dose maximale d'ajout est de 130 g/hL sur moût et 230 g/hL sur vin. Concernant l'acide lactique, il est possible de rajouter au maximum 180 g/hL sur moût et 300 g/hL sur vin.

Néanmoins, ces stratégies n'ont pas été mises en place par Château Margaux.

L'analyse du moût ci-dessus nous indique que celui-ci est carencé en azote En effet, son taux est de 63 mg/L. La propriété vise 180 mg/L d'azote assimilable pour ses vins afin d'assurer un bon déroulé de la fermentation.

L'azote ammoniacal est particulièrement faible, avec un taux de 15 mg/L. Il est généralement considéré qu'un taux de 50 mg/L d'azote ammoniacal permet un démarrage efficace de la fermentation. En effet, cette forme est la plus rapide à assimiler pour les levures.

L'ajustement en azote se fait en deux parties avec la moitié de la dose à chaque ajout.

Le premier ajout est fait le lendemain du levurage, avec du Nutristart. Ce produit contient du phosphate d'ammonium, des levures inactivées et des autolysats de levures.

Le second ajout a lieu lorsque la densité du moût est comprise entre 1,070 et 1,060. Cet ajout est composé de thiazote, lui-même formé de sulfate d'ammonium et de thiamine.

Le fait de séparer en deux apports permet d'étaler l'assimilation tout au long de la fermentation.

Tableau 6 : Tableau d'analyse de fin de fin de FA pour la cuve 20.

Paramètre	
Lot	20.0 FA – L'Orangerie
TAV (% vol)	14.02
Sucres réducteurs (g/L)	0.00
Indice de polyphénols totaux	68.00

Les analyses réalisées dans le tableau ci-dessus sont réalisées à la fin de la FA.

On constate que le vin atteint un TAV de 14.02 % vol, ce qui est assez élevé pour un Merlot dans les conditions de Margaux.

La fermentation alcoolique est bien finie, les sucres réducteurs sont de 0.00 g/L. Le vin est totalement sec. Les risques de nouveau départ en fermentation ainsi que de piqûres lactiques sont considérablement réduits.

Tableau 7 : Tableau récapitulatif de fin d'écoulage.

Date	01/10/2022
Volume goutte	5500 L
Volume P1	900 L
Volume P2	210 L
Volume P3	/
Volume P4	/
Volume total	6610 L
% presse	16,80%

Les analyses dans le tableau ci-dessus permettent de constater que le volume des jus de presse pour ce lot est relativement faible (16.8% de presse seulement).

La P3 n'est réalisée que pour les vins étant de qualité A ou AB, ce qui n'est pas le cas des lots issus de la parcelle de l'Orangerie.

Le volume total issu des pressurages pour cette cuve est de 1100 L.

Vin Blanc

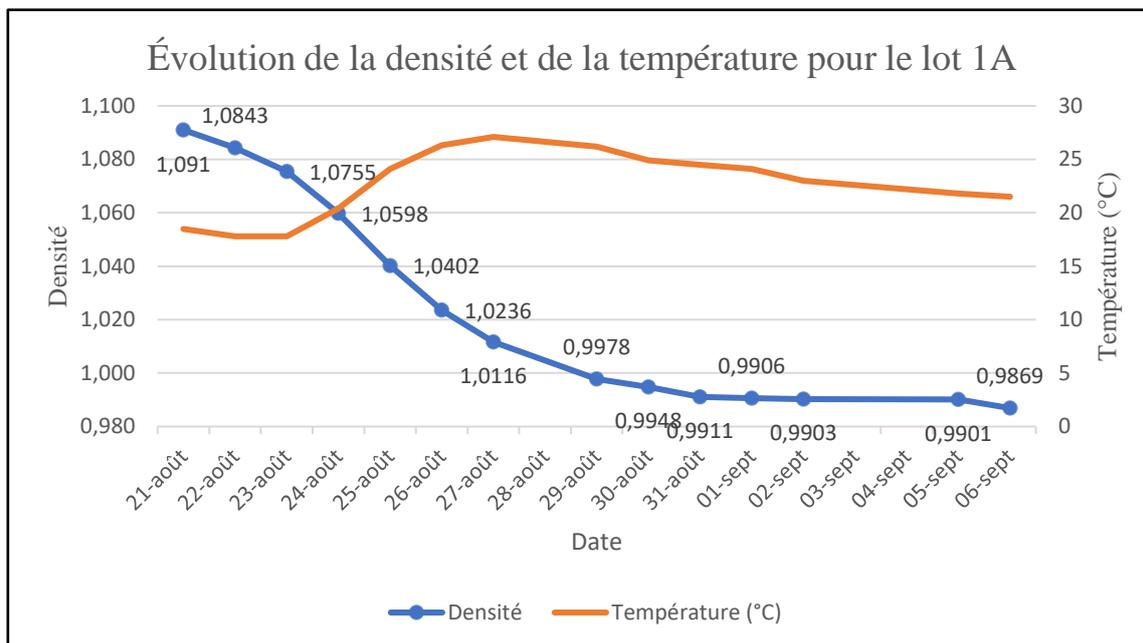


Figure 35 : Graphe de suivi de la densité et température du lot 1A

Le lot d'étude est le lot 1A. Celui-ci provient de la parcelle 109.0-1.

Le cépage est du Sauvignon Blanc.

La vendange eu lieu le 20 août. Le suivi de la fermentation (figure 35) nous indique un bon déroulé de la fermentation alcoolique, celle-ci aura duré quatorze jours.

Jusqu'au 23 août, la FA s'effectua en cuve inox, le transfert en barriques ayant eu lieu ce jour-là. La densité était alors de 1,0755.

On remarque une élévation de température du moût dû au changement de contenant, de la cuve inox à la barrique.

Le maximum de température atteint est de 27 °C avant que celle-ci ne baisse jusqu'à la fin de la fermentation.

Informations sur le lot		
N° Lot	1 A	
Nom	109 VL1	
Volume	17.86 hL	
Contenant	Cuve 80	
Analyse NTU final	NR	
Parcelle	[109.0-1] 109-Castelnaud	
Ratio jus	0.55(théo) / 0.52(réel)	
SO2	759.00 ml (soit 4.25 g/hL)	
Enzymes	18.97 g (soit 1.06 g/hL)	
Lot R&D	non	<input type="checkbox"/>

Figure 36 : Informations sur le lot 1A

RAPPORT D'ANALYSES N°96934

Château MARGAUX

33460 MARGAUX

Emis le 05/09/2022 à LAMARQUE

N° Labo	2209050201	2209050202	2209050203	2209050204
Enreg. le	05/09/2022	05/09/2022	05/09/2022	05/09/2022
N° lot	-	-	-	-
Contenant	LOT1A	LOT13.21	LOT20	BOURBES
vol.	-	-	-	-
Couleur	Blanc	Blanc	Blanc	Blanc
Millesime	2022	2022	2022	2022
Commentaire	-	-	-	-
Titre Alcoométrique Vol. 20°C (% VOL)	13.57	13.25	12.93	12.73
Sucres Réducteurs (g/l)	<2	<2	<2	<2
Glucose + Fructose (g/l)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Acidité Totale (g/l H₂SO₄)	4.56	3.82	4.36	5.06
pH	3.15	3.25	3.20	3.18
Acidité Volatile (g/l H₂SO₄)	0.19	0.18	0.16	0.21
Acide L-malique (g/l)	1.27	0.97	1.63	1.79

Claire GIRAUDON, Oenologue

Figure 37 : Bulletin d'analyses de fin de FA pour les blancs

Les lots de vins blancs sont analysés en laboratoire une fois la FA terminée (figure 37).

Le lot 1A possède un TAV de 13.57% vol., ce qui est relativement élevé pour ce type de vin blanc.

Les sucres réducteurs sont inférieurs à 2 g/L, le vin est donc totalement sec et le risque microbiologique et de nouveau départ en fermentation est donc limité.

Ce lot 1A possède une acidité totale de 4.56 g/L H₂SO₄, ce qui est relativement élevé pour ce type de produit. Un vin blanc avec une bonne acidité sera plus vif en dégustation.

Le pH est assez bas, de 3.15. Ce vin est peu à risque d'un point de vue microbiologique compte-tenu de son profil et son pH.

Concernant l'acidité volatile, le lot 1A ainsi que l'ensemble des autres lots sont bien en dessous de la norme maximale.

Afin d'être certain de n'exercer aucune influence négative sur les arômes et le profil du vin, il est préférable de ne pas dépasser les 0.60 g/L H₂SO₄.

L'acide L-malique est encore présent dans des proportions assez importantes (1,27 g/L pour le lot 1A). En effet, les vins blancs ne réalisent pas de FML afin de garder un profil plutôt frais et vif.

1.3.6 Typologie des vins produits et volumes

Chacune des cuvées répond à une offre de consommation différente.

Le Grand Vin, dont le prix peut monter en fonction de la qualité des millésimes, est l'emblème de la maison. Ce vin est issu des plus belles parcelles de la propriété et doit pouvoir offrir une richesse tout au long de son évolution dans le temps. Il est construit pour la garde.

Le second vin, Pavillon Rouge a connu un véritable bond qualitatif et va également offrir une vraie richesse. De prix plus abordable, celui-ci contient en général une plus grande proportion de Merlot dans l'assemblage et n'aura pas toutes les perspectives de garde que peut avoir le Grand Vin.

Le Margaux de Château Margaux a été créé en 2009 afin de permettre de créer un vrai différentiel qualitatif en faveur du second vin et le vrac. Les raisins qui ont le niveau qualitatif souhaité iront dans la constitution de ce vin plutôt qu'à la vente en vrac.

Concernant les vins blancs, seulement un tiers de la récolte environ est conservée pour la production du Pavillon Blanc. La sélection concernant le blanc est rigoureuse puisque 50% de la production est vendue au vrac.

Le tableau 8 indique les différentes cuvées ainsi que les prix et le nombre de bouteilles produites.

Tableau 8 : Tableau descriptif des différents vins de Château Margaux.

Cuvée	Vin Rouge				Vin Blanc	
	Grand Vin	Pavillon Rouge	Margaux de Château Margaux	Vrac	Pavillon Blanc	Vrac
Prix Public approximatif	A partir de 500 €	200-300 €	80 €	Inconnu	200-300 €	Inconnu
Nombre de bouteilles produites	120 000	110 000	70 000	variable	12 000	variable

II. Partie II : Chai et élevage des vins

2.1 Le travail du vin

2.1.1 Situation des locaux

La période d'élevage a lieu dans différentes parties du chai. L'élevage des blancs est dans une salle du chai Foster dans lesquelles sont positionnées les barriques. Pour les rouges, les deux chais à barrique sont regroupés. Celui de première ainsi que celui de seconde année se trouvent dans le bâtiment connexe au chai Foster. Au rez-de-chaussée se trouve le chai des vins de première année (voir figure 38), tandis que le chai à barriques de seconde année se trouve à l'étage inférieur de ce même bâtiment.

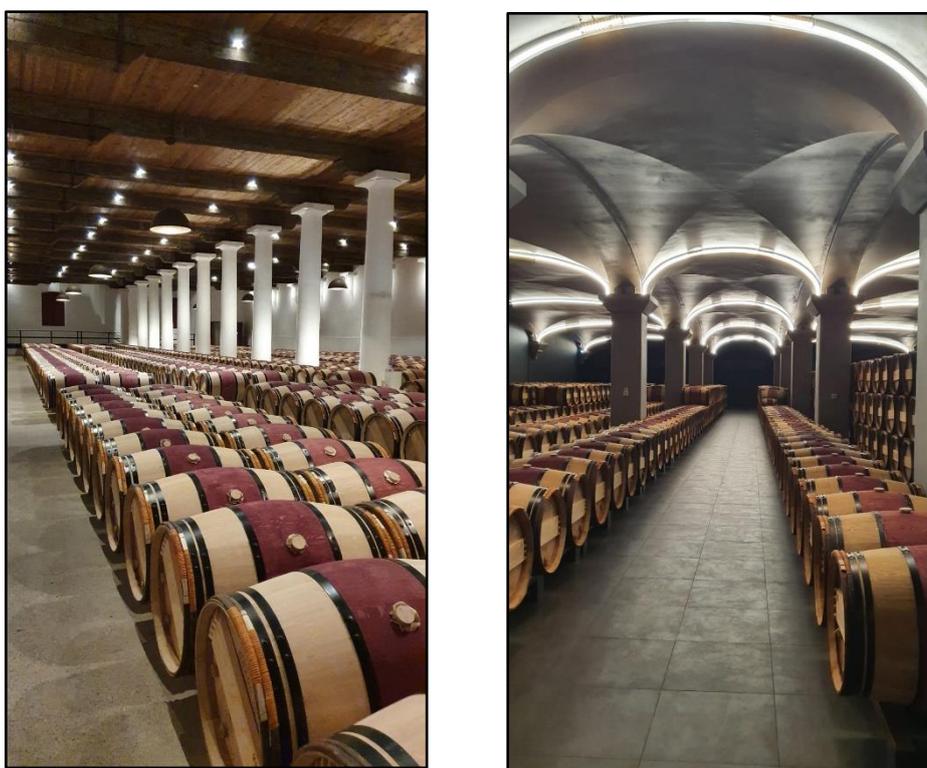


Figure 38 : Photographies du chai de première année (image gauche) et de seconde année (image droite). Images personnelles.

2.1.2 Description des éléments d'élevage et du travail du vin

L'élevage des vins à Château Margaux se fait en barriques, aussi bien pour les blancs que pour les rouges.

Ainsi, le chai contient une grande diversité de barriques, issues de différents tonneliers (Berger, Seguin-Moreau, tonneaux de la propriété etc).

Château Margaux a la particularité de posséder sa propre tonnellerie. L'ensemble des outils et du matériel permettant de fabriquer une barrique et les différents types de chauffe sont présents.

Du matériel de dernière génération comme la chaîne de lavage de barrique à l'eau chaude a néanmoins été installé au chai. Cet outil permet une économie de temps avant l'entonnage et est parfaitement complémentaire d'un méchage classique au SO₂.

L'ensemble des méthodes de vinifications sont restées traditionnelles.

Le soutirage à l'esquive est encore utilisé pour les vins rouges. Cette méthode, bien que plus longue et complexe permet de se passer de l'utilisation d'une pompe. L'équipe technique favorise cette méthode de soutirage car cette dernière s'avère plus efficace en termes de séparation des lies et de contrôle de la microbiologie des vins.

Toute l'opération est menée à l'aide de la gravité, à l'exception des barriques au sol pour lesquelles il est nécessaire d'exercer une poussée à l'air.

Pour cela l'opérateur utilise une source de lumière (une bougie) avant de jauger la présence ou non de lies dans le vin afin de pouvoir les séparer.

Durant l'élevage des rouges, les ouvriers du chai utilisent des bassines à soutirer en inox ainsi que des entonnoirs. Des cannes de soutirage en inox sont présentes lors des opérations de soutirages.

Pour l'ouillage des bidons spécifiques sont utilisés.

Concernant l'élevage des vins blancs, l'outil essentiel est la dodine. Celle-ci permet de remettre en suspension les lies dans la barrique (figure 39).



Figure 39 : Photographie d'une dodine. Image personnelle.

Aucun matériel utilisé durant les opérations avec les vins rouges n'est réutilisé pour les vins blancs. Ainsi, le risque de tâcher les vins par accident est limité.

2.1.3 Description des itinéraires d'élevage

Élevage des blancs

Les vins blancs sont élevés en barriques, sur leurs lies pendant une période de 9 mois, d'octobre à juin. Les deux opérations à mener durant la période d'élevage sont l'ouillage et le bâtonnage.

Afin de limiter la surface de contact entre le vin et l'oxygène, deux opérations d'ouillage hebdomadaires sont réalisées par les ouvriers du chai. Les phénomènes d'oxydation et les défauts de type évent sont donc limités.

Avec la même fréquence hebdomadaire que pour les ouillages, les opérations de bâtonnage sont menées minutieusement.

Réalisés dès la fermentation alcoolique et la mise en barriques, les bâtonnages sont réalisés avec une dodine en inox.

Le but de ces actions est de remettre en suspension les levures et réaliser le phénomène d'autolyse de ces levures. Des mannoprotéines vont être libérées et apporter une stabilité à la fois protéique et tartrique au vin. (Ledoux *et al.*, 1992) Le vin va libérer davantage de gras en bouche. La protéine Hsp12p a notamment été ciblée comme étant un acteur de cette sucrosité dans les vins. Cette protéine est liée à l'autolyse des levures. (Marchal, 2010)

Les vins sont dégustés tout au long de l'élevage et l'étape de l'assemblage à lieu en mai/juin suivant la vendange.

Accompagnée de l'œnologue conseil, l'équipe technique décide quelles barriques rentreront dans la composition du futur millésime de Pavillon Blanc.

Les barriques sont ensuite séparées en deux catégories, celles qui seront soutirées puis assemblées afin de réaliser l'assemblage du Pavillon Blanc, et celles qui seront soutirées, assemblées et vendues en vrac. Les vins sont par la suite stockés dans des cuves en inox inertées à l'azote.

Élevage des rouges

Élevage en barriques

L'ensemble des vins rouges de Château Margaux connaissent un élevage en barriques. Néanmoins les modalités d'élevage peuvent varier en fonction du devenir du vin. En effet, chaque lot possède une note attribuée (de A à D) indiquant si celui-ci donnera du Grand Vin, du Pavillon Rouge ou du générique.



Figure 40 : Photographie d'une dégustation de vins. Image personnelle.

Toutes les barriques sont en chêne français et la chauffe est harmonisée sur une intensité moyenne (bien que celle-ci puisse être relative en fonction de chaque tonnelier). Afin de jouir des propriétés des barriques de chacun des tonneliers, le domaine a donc décidé de travailler avec plusieurs sources d'approvisionnement.

Les barriques neuves donnent davantage d'arômes boisés aux vins et de structure aux vins. En effet, des polysaccharides ainsi que des ellagitanins sont transmis par l'intermédiaire du bois, et ce, en grande partie lors de la première utilisation de la barrique au contact du vin.

L'ensemble des lots qui forment le Grand Vin sont élevées en barriques neuves pour une durée de 18 à 22 mois.

Le second vin, le Pavillon Rouge, reste en élevage pour une durée d'environ 20 mois dans 55% de barriques neuves contre 45% de barriques ayant déjà contenues un vin.

Le générique, Margaux de Château Margaux passe quant à lui 18 mois en barriques, avec une part de barriques neuves ne dépassant pas les 20%.

La durée d'élevage n'est pas fixe et peut être rallongée ou raccourcie pour chaque vin en fonction des commentaires et des avis de l'équipe techniques lors des dégustations en cours d'élevage.

Durant cette période de plusieurs mois, le vin est en interaction constante avec son milieu. Une partie se voit être absorbée par la barrique et une autre part s'évapore, il est donc nécessaire de maintenir le niveau dans la barrique afin de limiter les processus d'oxydation.

Pour cela des ouillages réguliers ont lieu sur toutes les barriques du chai de 1^{ère} année.

Les barriques ne sont scellées hermétiquement qu'au bout de 6 mois. Auparavant celles-ci ne sont fermées qu'avec une bonde en verre posée en son sens inverse. De cette manière le CO₂ peut être expulsé et ne pas créer de surpression dans le tonneau.

Des essais avec de nouveaux types de contenants sont actuellement en cours au sein du chai.

Des amphores en grès de différents formats ainsi que des Wineglobe en verre sont essayés par la propriété. Bien que la micro-oxygénation des vins soit identique entre les amphores et les barriques, des résultats intéressants ont été montrés d'un point de vue microbiologique. (Frédéric, 2021)

Après plusieurs mois d'élevage, des acidités volatiles et des concentrations en phénols volatils plus faibles ont été détectées sur les vins en amphores. (Frédéric, 2021)

La perte de composés flavonoïdes est d'un même ordre pour l'élevage en amphores et en barrique. (Baiano et Varva, 2019)



Figure 41 : Photographies des amphores d'élevage. Image personnelle.

Au niveau sensoriel, les palettes aromatiques sont moins complexes pour les vins élevés en amphores mais ceux-ci possèdent une tension et une fraîcheur pouvant être intéressantes lors d'un assemblage, en complément des élevages en barrique traditionnels. (Frédéric, 2021) (Baiano et Varva, 2019)

Concernant l'élevage en verre, dans les Wineglobe, d'autres propriétés sont mises en avant.

Le vin est dans un milieu imperméable à l'oxygène et le verre n'apporte aucun apport aromatique au profil du vin. La consommation du vin n'a pas lieu comme dans une barrique traditionnelle (Moutounet *et al.*, 1998), l'ouillage n'est donc plus à effectuer.

Le verre étant une surface lisse, il est plus difficile pour les micro-organismes de s'y insérer, à la différence des barriques en bois (Suárez *et al.*, 2007). Le risque de déviations organoleptiques est plus faible.

D'autres avantages sont mis en avant comme la pérennité du contenant qui peut servir sur de nombreuses vinifications ou sa transparence, permettant de suivre visuellement l'évolution du produit (turbidité, sédimentation des lies).

Ces nouveaux modes d'élevage du vin peuvent être un nouvel atout pour les vins du Médoc, où la surutilisation des boisages est remise en question par de plus en plus de propriétés.

Soutirages

Le soutirage est l'opération qui consiste à séparer le vin clair de ses lies et des dépôts présents au fond de la barrique. Un changement de récipient à un autre a lieu (garde-vin, barrique ou cuve) et l'ancienne barrique est nettoyée de ses dépôts et pourra ainsi être de nouveau utilisée. Le contact prolongé entre les vins et les dépôts peuvent induire des odeurs de réduits ou des déviations aromatiques.

Cette technique permet d'oxygéner le vin, l'assouplir et faire disparaître le CO₂ dissous.

Différentes méthodes de soutirage existent mais Château Margaux a décidé de perpétuer la traditionnelle méthode du soutirage à l'esquive.

L'esquive est le bouchon qui vient boucher le trou d'esquive, encoche présente sur la face plane de la barrique par laquelle le vin clair va s'écouler dans son nouveau récipient.



Figure 42 : Photographie du soutirage à l'esquive. Image personnelle.

En tout, six soutirages sont effectués pour les vins rouges du domaine.

Le premier soutirage a lieu en début d'année et a pour objectif de clarifier le vin. Celui-ci est réalisé à l'esquive.

Une fois ce soutirage réalisé sur l'ensemble des lots, l'assemblage des trois gammes de vins va avoir lieu et les vins vont tous être remis en barriques pour poursuivre leur élevage. Une canne est utilisée pour pomper les vins en vue de l'assemblage.

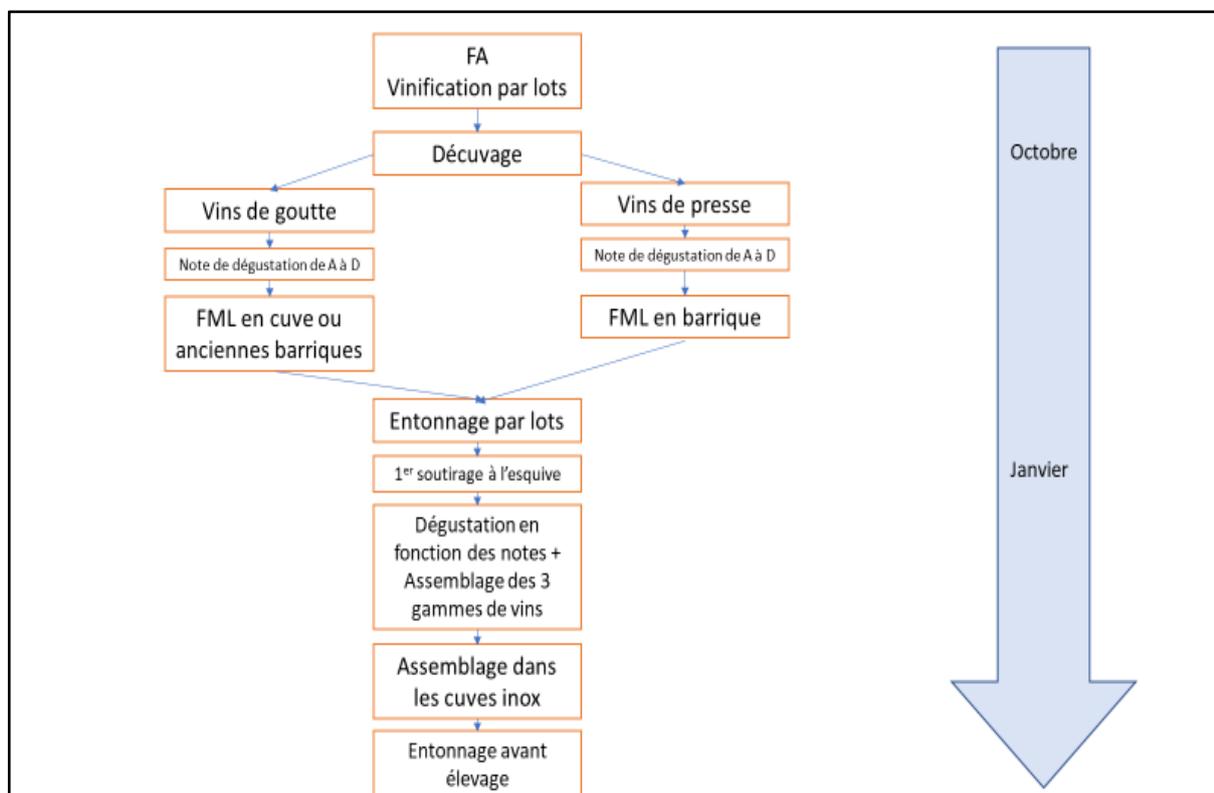


Figure 43 : Schéma sur l'assemblage des vins rouges.

Une fois l'élevage des vins assemblés commencé, les soutirages qui ont lieu sont tous réalisés à l'esquive.

Cette technique nécessite la présence de deux opérateurs. En effet, un sert à incliner la barrique afin de faire couler le vin par gravité tandis que l'autre suit l'évolution de la limpidité du vin. Pour cela ce dernier utilise un verre et une bougie et décide d'arrêter l'opération une fois qu'il considère que le vin se trouble trop.

Lorsque la barrique à soutirer est située à un niveau inférieur, un soufflet va pousser le vin dans une barrique situé à un même niveau.

Bien que nécessitant du temps, une certaine technique et de l'expérience, cette technique de soutirage présente des intérêts. Elle est notamment plus douce qu'une méthode conventionnelle puisque le brassage des lies est quasiment nul, le développement de *Brettanomyces* est limité.

Une oxygénation légère est apportée aux vins durant le soutirage, celle-ci va assouplir la structure des tanins et limiter la formation d'arômes de réduits. (Gómez-Plaza et Cano-López 2011) (del Carmen Llaudy *et al.*, 2006)

Durant les soutirages, les ajustements en SO₂ libre sont effectués, en fonction des résultats des analyses menées auparavant.

Le transfert des barriques du chai de première année vers le chai de seconde année a lieu après le second soutirage. Les barriques y seront fermées hermétiquement avec une bonde en bois et de la toile de jute et ne connaîtront plus aucun ouillage.

Le dernier soutirage a lieu à la fin du printemps de l'année suivante et précède la mise en bouteille.

2.1.4 Description des étapes de stabilisation

Stabilisation des vins blancs

Stabilisation tartrique

L'instabilité tartrique est une des causes majeures de précipitations dans les vins. L'acide tartrique est présent en équipe avec deux sels différents : le tartrate neutre de calcium (avec une solubilité limitée) et l'hydrogéntartrate de potassium. Durant la FA, une première précipitation tartrique apparaît, en conséquence de l'augmentation de la teneur en alcool. D'autres précipitations pourront avoir lieu pendant l'élevage et également en bouteille, avec la formation d'un dépôt cristallin.

Cependant, les vins blancs de Château Margaux sont peu soumis à ces risques. En effet, ils bénéficient d'une protection liée à l'élevage sur lies avec des bâtonnages réguliers. Durant cette intervention il y a une libération de mannoprotéines par les lies qui ont une action sur la réduction de la cristallisation du tartrate de potassium. (Moine-Ledoux et Dubourdieu., 2002)

Au cas où cette protection ne serait pas suffisante, un ajout de mannoprotéines commercial peut être effectué.

Stabilisation protéique

Des protéines instables peuvent faire apparaître des troubles dans la bouteille.

Afin de jauger la sensibilité du vin à la casse protéique, plusieurs tests sont possibles. Les tests chimiques vont avoir pour objectif d'amplifier la floculation par ajouts de divers intrants chimiques (acide trichloracétique/TCA, réactif phosphomolybdique ou tanins).

Néanmoins, les tests les plus communément utilisés sont les tests à la chaleur avec une application d'un couple température x durée (30 minutes à 80°C par exemple).

Le taux d'instabilité est mesuré par l'intensité de la turbidité du trouble formé.

Pour du Sauvignon à Bordeaux, un vin est considéré comme stable si le dNTU est < 2 (en règle générale, il est plutôt considéré un dNTU <5 dans le reste des bassins viticoles français).

En cas d'instabilité protéique avérée suite aux tests, le traitement consiste en l'ajout de Bentonite. (Salazar et Achaerandio., 2006)

La bentonite est une argile possédant la propriété d'absorber les protéines par l'intermédiaire de liaisons ioniques. Suite à la précipitation et un soutirage, l'ensemble des protéines à risques sont éliminées. Son dosage est déterminé par des tests de collages où des doses croissantes de bentonite sont ajoutées avant de faire les mesures de stabilité pour l'ensemble de la gamme. Il est nécessaire de choisir une dose adaptée car un surdosage de bentonite peut avoir un effet négatif sur le profil aromatique des vins blancs. (Lira *et al.*, 2014)

Stabilisation des vins rouges

L'étape du collage

L'étape de collage consiste à l'ajout d'un agent extérieur de collage qui lors d'une réaction physico-chimique va interagir avec les colloïdes, particules instables du vin.

Va ensuite se mettre en place l'agglomération de toutes ces grosses particules lors de la floculation. Ces dernières seront retirées lors du filtrage.

Cette action va permettre d'améliorer les qualités gustatives du vin en éliminant des composés jouant négativement sur le profil du vin.

A Château Margaux, le collage est effectué de manière traditionnelle, à partir de blancs d'œufs. Cinq blancs sont utilisés pour chacune des barriques.

Stabilisation microbiologique

L'un des principaux ennemis du vin rouge pendant son élevage sont les *Brettanomyces*. Ces levures sont particulièrement résistantes à l'alcool et aux pH bas.

Certains facteurs tels que l'élevage en barrique avec une désinfection mal réalisée des tonneaux ou des teneurs en SO₂ faibles vont favoriser l'apparition de ces levures.

Ainsi, de manière mensuelle, tous les lots sont analysés afin de repérer un développement éventuel de *Brettanomyces*.

Si leur proportion devient risquée pour le vin, du chitosane est alors utilisé. (Taillandier *et al.*, 2015)

Utilisé à des doses de 2 à 4 g/hl, le chitosane va se fixer sur les cellules des *Brettanomyces* et dégrader leur paroi entraînant ainsi leur mort. Les deux se déposeront en fond de barrique dans les lies.

D'autres stratégies, non utilisées à Château Margaux, peuvent être mises en place afin de les éliminer comme la flash-pasteurisation, une filtration stérile ou bien des hautes pressions. (González-Arenzana *et al.*, 2016)

En effet, le SO₂ n'est pas l'unique facteur déterminant le risque de *Brettanomyces*, il est montré qu'il existe une grande diversité de ces levures ayant des comportements différents vis-à-vis du SO₂ : sensibilité, tolérance ou bien développement de résistances. (Rousseaux *et al.*, 2019) (Cibrario, 2017) Plusieurs facteurs sont mis en avant, comme notamment les différentiels de température au sein du chai (Cibrario, 2017).

Des résistances à des concentrations élevées en éthanol ont été montrées (V. Renouf *et al.*, 2006), la levure d'altération peut également s'adapter dans des milieux faibles en sucres ou carencés en azote assimilable.

Les micro-oxygénations, nécessaires dans le cadre de l'élevage du vin en barriques, et d'utilité reconnue, sont également un facteur à risque. Celles-ci pourraient permettre le développement de *Brettanomyces*. (Wedral *et al.*, 2010)

La génétique peut expliquer en partie l'adaptation de ces levures et la difficulté de lutter contre. Ainsi, les sources de *Brettanomyces* triploïdes présentent une meilleure adaptation au milieu physico-chimique du vin. (Cibrario, 2017)

2.1.5 Description des étapes de mise en bouteille

Jusqu'à l'année 2022 incluse, la mise en bouteille était réalisée à la propriété par un prestataire externe.

À la suite de plusieurs dégustations et à l'évolution de l'élevage du vin, l'équipe technique se concerta afin de décider la date de mise en bouteille optimale.

Durant un mois, la société Bergeon Embouteillage installait son camion de mise en bouteille (MEB) et effectuait la mise à une allure pouvant aller à 7 000 bouteilles/h.

A partir de 2023, Château Margaux pourra jouir de sa propre ligne de mise en bouteille. Une fois les équipes formées et l'ensemble de la nouvelle chaîne maîtrisée, le domaine gagnera en flexibilité sur toute cette opération.

Avant l'opération de MEB, les vins sont filtrés. Cette dernière est réalisée grâce à un filtre à cartouche monté avec une succession de trois membranes de 5 µm, 3 µm et 1 µm.

Une fois le vin prêt, les bouteilles vides sont lavées, séchées et inertées avec une injection d'azote. L'objectif est de limiter au maximal les introductions d'oxygène dans le contenant.

Le tirage des vins a également lieu sous azote. Le bouchon est inséré dans la bouteille et un opérateur vient la ranger dans sa caisse correspondante.

Chaque type de vin possède son propre bouchon différent avec ses caractéristiques : on ne cherche pas le même potentiel de garde sur le Grand Vin et sur le générique.

Les bouchons en liège sont favorisés pour les vins rouges de la propriété. Au début de leur conservation ces derniers laisseront un léger transfert d'oxygène s'effectuer et modèleront les propriétés du vin. (Chevalier *et al.*, 2018)

Concernant les vins blancs, la propriété a favorisé un bouchon de type aggloméré (Diam 30) plutôt qu'un bouchon en liège.

Durant plusieurs années, le service Recherche et Développement a mis en place des essais sur les vins blancs afin de déterminer le meilleur type de bouchage. Il s'avère que les bouchons Diam protègent mieux de l'oxygène et offrent une meilleure homogénéité par rapport aux bouchons en liège utilisés classiquement.



Figure 44 : Photographie de bouchon de type Diam 30. Source : g3order.com

2.1.6 Suivi des paramètres analytiques de l'élevage à la mise en bouteille : exemple du R-Pulse

RAPPORT D'ANALYSES N°99528					
Château MARGAUX					
33460 MARGAUX					
Emis le 12/10/2022 à LAMARQUE					
N° Labo	2210120315	2210120316	2210120317	2210120318	2210120319
Enreg. le	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022
N° lot	LOT38.0FML	LOT66.0FA.B	LOT70.0FML	LOT73.0FML	LOT82.0FML
Contenant vol.	13604	13597	13596	13598	13599
Couleur	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Millesime	2022	2022	2022	2022	2022
Commentaire	-	-	-	-	-
Titre Alcoométrique Vol. 20°C (% VOL)	14.65	13.58	14.01	14.55	14.60
Sucres Réducteurs (g/l)	<2	<2	<2	<2	<2
Indice de polyphénols totaux	80	77	87	97	82
N° Labo	2210120320	2210120321	2210120322		
Enreg. le	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022		
N° lot	LOT84.0FML	LOT88.1FML	LOTS09.0FM		
Contenant vol.	13600	13601	13605		
Couleur	Rouge	Rouge	Rouge		
Millesime	2022	2022	2022		
Commentaire	-	-	-		
Titre Alcoométrique Vol. 20°C (% VOL)	14.54	14.56	14.91		
Sucres Réducteurs (g/l)	<2	<2	<2		
Indice de polyphénols totaux	87	93	92		
Claire GIRAUDON, Oenologue					

Figure 45 : Bulletin d'analyses de fin de FA.

L'analyse ci-dessus (figure 45) a été réalisée à la fin de la fermentation alcoolique. L'ensemble des sous-lots de l'expérimentation R'Pulse et remontage classique ont été analysés. Les deux objectifs principaux de cette analyse sont d'obtenir le TAV final du vin en %VOL une fois sa fermentation alcoolique finie et vérifier si cette dernière est totalement terminée. Pour cela il faut vérifier que les sucres réducteurs soient bien descendus sous le seuil des 2 g/L.

C'est le cas pour l'ensemble des lots de l'essai, tous ont donc bien finis leur FA. Nous avons également une gamme de TAV allant de 13.58 %VOL à 14.91% VOL. Nous avons une hétérogénéité dans les lots, ce qui est également vérifié avec la gamme d'indices de polyphénols totaux. Jusqu'à 10% de différences sont constatées entre les lots.

Tableau 9 : Tableau de résultats d'analyses de fin de FML, pour les deux modalités.

Paramètre	Remontage	R'Pulse
Intensité colorante modifié (ICM) DO 420, 520, 620	14.70	15.73
DO 420	5.13	5.48
DO 520	7.86	8.44
DO 620	1.71	1.81
Indice d'éthanol (%)	18	13
Indice de gélatine (%)	49	48
Indice d'HCL (%)	20	16
Polyphénols totaux (en mg/L eq.acide gallique)	3095	4035
Anthocyanes totaux (mg/L eq. Malvidine)	986	935
Composés phénoliques		
Degré de polymérisation	3.62	3.13
Prodelphinidines (%)	16.2	13.2
Galloylation (%)	0.9	0.6

Le tableau ci-dessus (tableau 9) indique les résultats d'analyses post-FML obtenus pour les vins de goutte des modalités R'Pulse et remontage.

L'intensité colorante modifié (ICM) est déterminée à l'aide d'une spectrophotométrie UV-visible manuelle.

Les DO (420,520,620) sont obtenus par spectrophotométrie.

La méthode des glories permet d'avoir les indices d'éthanol, de gélatine et d'HCL.

Les polyphénols totaux sont calculés à partir du Folin.

Les anthocyanes totaux sont obtenus par décoloration au SO₂ et spectrophotométrie.

La méthode de chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse permet d'obtenir les informations sur les composés phénoliques (degré de polymérisation, prodelphinidines et galloylation).

Une intensité colorante plus importante est présente pour la modalité R'Pulse.

Les valeurs permettant de jauger de l'extraction après les deux fermentations sont dans une gamme similaire pour les modalités R'Pulse et remontage.

On constate néanmoins un taux de galloylation des vins de goutte plus élevé pour la modalité en remontage classique. L'astringence de ce vin sera plus importante.

Le taux de prodelphinidines est plus important pour la modalité remontage, ce qui baisse l'astringence du vin.

Tableau 10 : Tableau d'analyses pré MEB, pour les gouttes et P1 des deux modalités.

Paramètre	Remontage P1	R'Pulse P1	Remontage Goutte	R'Pulse Goutte
Titre Alcoométrique Vol. 20°C (%VOL)	14.56	14.40	14.37	14.47
Sucres Réducteurs (g/l)	<2	<2	<2	<2
Glucose + fructose (g/l)	0.3	0.1	0.2	0.2
Acidité Totale (g/l H ₂ SO ₄)	3.06	3.23	3.55	3.70
pH	3.73	3.75	3.64	3.62
Acidité Volatile (g/l H ₂ SO ₄)	0.19	0.22	0.24	0.24
Anhydre Sulfureux Libre (mg/l)	27	32	30	29
Anhydre Sulfureux Total (mg/l)	42	54	49	47
SO ₂ actif à 15°C (mg/l)	0.36	0.40	0.48	0.49
SO ₂ actif à 18°C (mg/l)	0.44	0.49	0.59	0.60
Acide L-malique (g/l)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Indice de polyphénols totaux	91	83	83	80
CO ₂ (mg/l)	717	688	225	299
DO 420	6.82	6.02	6.60	6.96
DO 520	11.20	9.61	11.40	11.34
DO 620	2.75	2.34	2.43	2.79
ICM	20.77	17.97	20.43	21.09

Les mises en bouteilles des vins issus du département Recherche et Développement et ceux de la production n'ont pas lieu à la même période.

Alors que la mise en bouteille de la production a lieu en juin, celle du pôle R&D se déroule au début du mois de mai.

Il est ainsi nécessaire de suivre plusieurs paramètres en cours d'élevage et avant la mise en bouteille.

Ici, les analyses de l'essai R'Pulse sont étudiées.

Les vins ont eu une période d'élevage de six mois dans des bidons en inox.

Durant cette période d'élevage les vins connaissent plusieurs analyses en routine afin d'éviter toute déviance, l'acidité volatile et le taux de SO₂ sont notamment regardés avec intérêt. L'acidité volatile pouvant notamment mener à des déviations de goûts (vinaigre) non désirées. (Vilela, 2018) (Zoecklein *et al.*, 1995)

La mise en bouteille est réalisée au sein du laboratoire R&D, pour cela une tireuse à quatre têtes est utilisée (voir figure 46).

Le niveau de chaque col est vérifié manuellement à l'aide d'une réglette puis la bouteille va dans la boucheuse pneumatique.

Les informations sur l'essai en question sont indiquées manuellement à l'aide d'une étiquette.



Figure 46 : Photographie de la tireuse du laboratoire R&D. Image personnelle.

Les analyses pré-MEB permettent de vérifier le caractère marchand du vin. Ainsi, l'acidité volatile d'un vin rouge de ce type ne doit pas dépasser 0.98 g/L H₂SO₄ tandis que le SO₂ total pour un vin rouge sec ne doit pas être supérieur à 150 mg/L. (Pelonnier-Magimel, 2021)

Nous constatons des niveaux de SO₂ libres bons pour tous les vins, on considère qu'un taux de SO₂ libre compris entre 20 et 30 mg/L permet une conservation optimale des vins. C'est le SO₂ actif qui possède les propriétés antioxydantes, antiseptiques.

C'est le cas ici, les risques microbiologiques et d'oxydation seront limités.

A Château Margaux les vins sont réhaussés à un taux de 30 mg/L.

L'ensemble des vins d'essais est donc conforme à la réglementation en vigueur.

2.1.7 Suivi des paramètres analytiques de l'élevage à la mise en bouteille : en production.

OENOTEAM		17, Chemin de VERDET 33500 LIBOURNE Tél : +33 (0)5 57 51 00 28 Fax : +33 (0)5 57 25 31 39		7, Rue de l'Industrie 33250 PAULLIAC Tél : +33 (0)5 33 09 31 79 Fax : +33 (0)5 33 09 68 47		info@oenoteam.com www.oenoteam.com		CHATEAU MARGAUX PRODUCTION 1 Château BP 31		
Code:411015		Certificat d'analyses n° 107659 du 10 janvier 2023						33460 MARGAUX FRANCE		Page 1/3
ID Vin Contenant		50 FML	51 / 74 BIS FML 2022	53 FML	54 FML	55 / 68 FML	62 FML	69 FML	74 FML	
Millésime		2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	
Volume										
Matrice/Couleur		Vin Rouge	Vin Rouge	Vin Rouge	Vin Rouge	Vin Rouge	Vin Rouge	Vin Rouge	Vin Rouge	
N° Labo		2301108021	2301108022	2301108023	2301108024	2301108025	2301108026	2301108027	2301108028	
Levures Actives Cytométrie	cellules/mL	5.0E+1	1.0E+1	3.1E+2	3.0E+1	1.2E+2	1.0E+1	1.0E+1	8.0E+1	
Vitalité Levures		39	129	8	221	25	487	41	19	
Brettanomyces Cytométrie	cellules/mL	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
Ethyl-4-Phénol	µg/L	22	12	<8	21	11	10	9	118	
Ethyl-4-Gaïacol	µg/L	< 3	< 3	< LD	< 3	< 3	< 3	< 3	23	
Σ Phénols Volatils	µg/L	24	13	<8	23	12	11	10	(140)	
Σ PV/SP		0.06	0.03	0.01	0.05	0.03	0.03	0.02	0.33	

Figure 47 : Bulletin d'analyses d'élevage pour les vins rouges

Tout au long de l'élevage, des suivis mensuels ont lieu afin de suivre microbiologiquement l'ensemble des lots (figure 47).

Le but est de prévenir et limiter le développement de *Brettanomyces bruxellensis* et pouvoir intervenir le plus rapidement possible si besoin.

Le bulletin d'analyses concerne le lot provenant de la parcelle de l'Orangerie (ici 55/68 FML) ainsi que d'autres lots de rouge en cours d'élevage.

Le dénombrement de levures viables, réalisé par cytométrie en flux, indique une présence de levures actives dans l'ensemble des lots.

Il est donc intéressant d'étudier le dénombrement de *Brettanomyces* par cytométrie qui, lui, indique une absence de contamination pour l'ensemble des lots.

Les dosages de l'éthyl-4-phénol et de l'éthyl-4-gaïacol sont réalisés par extraction par sorption sur barreau magnétique. Ces deux composés sont témoins de l'activité de *Brettanomyces*.

Les concentrations dans le bulletin d'analyse sont normales, exceptées pour le lot 74 FML qui présente des teneurs particulièrement élevées.

La somme des phénols volatils est faible pour l'ensemble des lots, à l'exception du lot 74 FML qui présente une concentration de 140 µg/L.

Afin de ne pas trop influencer sur les qualités organoleptiques du vin, il est recommandé de ne pas dépasser 400 µg/L de phénols volatils.

Un traitement par chitosan peut être intéressant pour des contaminations faibles ou modérées. La dose à utiliser sera comprise entre 2 et 4 g/hL.

2.2 Etude des démarches qualité et sécurité

2.2.1 La démarche Qualité

La démarche qualité englobe l'ensemble des activités de la propriété.

En effet, le service informatique de Château Margaux a pu développer le logiciel PROVINO qui permet de mettre en place une traçabilité de la vendange au vin qui poursuit son élevage dans la barrique (figure 48).

Ce logiciel permet d'enregistrer une trace de toutes les actions, mesures, effectuées sur les raisins, le moût ou le vin.

Dans l'exemple de la figure 42, nous pouvons voir directement depuis le logiciel une mesure de suivi de FA, à la date du 15 septembre pour un cuvon en particulier.

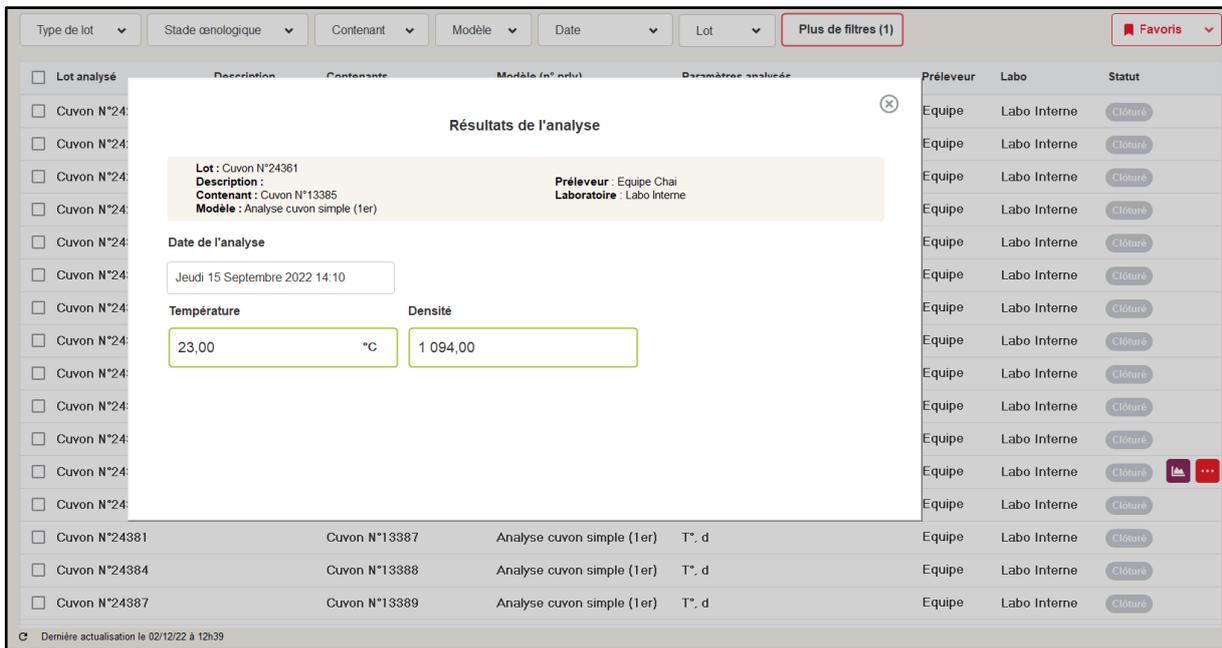


Figure 48 : Capture d'écran du logiciel PROVINO.

Des QR-Codes ont ainsi été apposés sur les différentes cuves et barriques de domaine afin de pouvoir les scanner et rentrer les informations sur les actions effectuées.

Toutes les analyses physico-chimiques, les suivis de fermentations sont enregistrés au fur et à mesure. Il est possible d'étudier et de traiter les données obtenues en consultant l'application développée.

Concernant la traçabilité des bouteilles qui sortent de la propriété, chacune possède un QR-Code unique et gravé au laser. Un code à bulle est également présent sur chaque col, celui-ci peut être scanné par le consommateur afin de vérifier la traçabilité de sa bouteille.

Le service informatique suit également de manière attentive l'ensemble des transactions sur internet impliquant des vins de Château Margaux afin de s'assurer qu'aucune copie ne puisse être vendue.

Afin de fiabiliser les démarches de sécurité alimentaire, la propriété a mis en place une pratique de la méthode HACCP sur tous les ensembles de production.

De nombreuses mesures d'hygiène sont également instaurées, en effet, un outil de travail propre permet de limiter les risques de contamination sur les vins et facilite le travail de l'ensemble des opérateurs.

Plusieurs paramètres sont à prendre en compte afin d'instaurer un plan de nettoyage : type de produit et concentration, type de surface, température, temps de contact et effet mécanique. (Rochard *et al.*, 1996)

Le chai Foster et l'ensemble des installations liées au travail de vinification ont été optimisés pour faciliter le travail de nettoyage.

Ainsi, de nombreux tuyaux, avec de l'eau froide et chaude sont facilement accessibles en toute part du chai. La salle où sont stockés l'ensemble des produits d'entretien est fermée et sécurisée, il est nécessaire de porter des lunettes de protection, des gants et une combinaison pour manier des produits qui peuvent être à risque pour l'opérateur.

Les produits les plus couramment utilisés sont les détartrants et les désinfectants. Pour chacun de ces produits un cadre strict d'utilisation a été défini, avec des conditions d'application, d'utilisation, de dosage et un rinçage soigné.

Le *Décatartre* liquide est alcalin et à la couleur jaune clair. Ce produit, au pH de 12,7 a pour but de détartrer les cuves et le matériel en inox ayant été en contact avec le vin. Le dosage préconisé va de 1 à 15% mais en pratique, il est dosé à 5% pour détartrer une cuve en inox. La durée d'action est de 20 minutes et il est nécessaire de rincer abondamment la surface traitée.

Le *Decapol* liquide est un décontaminant et activateur de détergence. De couleur incolore, il présente un pH de 5,4. A base de peroxyde d'hydrogène, ce produit a un effet dérougissant et désinfectant. Le dosage conseillé est de 0,2 à 2% mais dans la pratique les opérateurs le dosent à 2% afin de l'appliquer sur des surfaces en inox. Il faut laisser le produit s'appliquer 20 minutes avant de rincer abondamment la surface.

Le dioxyde de soufre, SO₂, est également utilisé comme désinfectant et antibactérien. Une solution de bisulfite de potassium concentrée à 10% est utilisée.

La diversité de surfaces à nettoyer nécessite un plan de nettoyage et désinfection propre à chaque matériau.

Les cuves sont soit en acier inoxydable soit en bois avec un revêtement interne.

Les cuves inox présentent un revêtement poli de type miroir. (Partington, 2020) L'entretien de ces cuves est particulièrement aisé du fait de la non-adhérence des résidus sur la surface interne de la cuve. Pour la majorité des opérations, un nettoyage à l'eau chaude est suffisant.

Les cuves en bois de Château Margaux sont aseptisées grâce à un méchage au soufre.

Les tuyaux dans lesquels le vin circule sont constitués de PVC plastifié avec une spirale en PVC renforcé l'entourant. La surface interne est lisse et règlementée pour le contact alimentaire. Le nettoyage de ces tuyaux s'effectue avec des bassines d'eau dans lequel est dilué la solution désinfectante, les tuyaux sont ensuite rincés à l'eau claire.

Les barriques sont lavées à l'eau froide et à la vapeur avant d'être méchées un à deux jours après. Cette opération a pour but de désinfecter le fût à l'aide d'une mèche de soufre. Les vapeurs de gaz libérés tuent les micro-organismes présents tout en participant au sulfitage du vin qui sera élevé dans la barrique. (Bakai, 2015)

Des pastilles de 2 à 10 grammes sont utilisées. Plus le dosage est important, plus l'opération participera à la correction des teneurs en SO₂ du vin durant sa période d'entonné. (Chatonnet *et al.*, 1993)

Une fois le méchage effectué, un dégorgeage permet d'éliminer l'ensemble des sulfates formés à cause de l'opération. Pour cela il faut remplir la barrique d'eau sulfitée durant trois jours puis la rincer.

L'ensemble des opérations liées au méchage permettent également à l'opérateur d'effectuer un contrôle visuel et olfactif de la barrique afin de prévenir l'apparition de moisissures.

2.2.2 Les démarches environnementales et de sécurité

Le domaine porte une grande attention à son environnement externe et interne, que ce soit le milieu naturel, la faune et les paysages ou bien l'ensemble des acteurs participants à la réalisation de chaque millésime.

Concernant les démarches environnementales, Château Margaux se veut être à la pointe des dernières avancées, notamment grâce à son service Recherche et Développement et grâce au poste de chargé de mission développement durable créé il y a quelques années.

La R&D travaille sur de nombreux projets permettant de réduire la dépendance aux traitements et interventions extérieures.

Ainsi, le projet du Viti-Tunnel est désormais en place depuis 2020 (figure 49).

Il s'agit d'un mécanisme visant à se déployer au-dessus de la vigne en cas d'intempéries. (Novello *et al.*, 2000) (Vox *et al.*, 2012)

Ainsi, la vigne est moins sujette aux maladies pluie-dépendantes qui sont directement liées à l'eau libre. (Thind *et al.*, 2004)

La vigne n'a plus à être traitée au cuivre pour lutter contre le mildiou dans le cadre des rangs couverts par les bâches du Viti-Tunnel.

D'autres essais sont mis en place afin d'adapter le vignoble aux futurs changements induits par le changement climatique.

Depuis trois années, Château Margaux met en place des essais de pulvérisation de kaolin afin de lutter contre l'échaudage. (Lobos *et al.*, 2015) En effet, les hautes températures viennent affecter la production sur certaines parcelles en faisant sécher de nombreuses grappes et en affaiblissant la vigne.

Des essais de paillage sont également effectués afin de mesurer l'utilité sur la préservation de la ressource hydrique.

Le poste créé de chargé de mission développement durable a permis d'axer le domaine sur de nouveaux points de travail.

L'empreinte carbone de la propriété, à travers l'ensemble de ses activités, a été calculée. Des stratégies afin de réduire celle-ci, au chai, à la vigne et dans l'entretien de la propriété ont été proposées.

Des plans de compostage des déchets ainsi que des plans de réductions énergétiques ont ainsi été à l'étude.

Le chargé de mission développement durable a également un rôle de formation et de sensibilisation auprès de l'ensemble des équipes.



Figure 49 : Photographie de l'essai Viti-Tunnel. Image personnelle.

Concernant la sécurité des salariés, de nombreuses mesures sont mises en place par Château Margaux au-delà du cadre légal.

A la vigne, dès que les conditions deviennent extrêmes, l'ensemble des équipes sont priées de se protéger (lorsque la température dépasse 32°C l'été où lors d'épisodes orageux).

A la suite de traitements au vignoble, des délais de réentrée sont appliqués, durant ce délai, aucun personnel n'est autorisé à se rendre dans les parcelles en question (il s'agit d'une application du cadre légal).

Au chai, la première des obligations concerne la tenue. L'ensemble des personnels du chai doivent être équipés de chaussures de sécurité à coque (c'est le cas pour l'ensemble des équipes à la vigne également).

Des tenues spéciales (combinaisons, masques ou gants) peuvent être requises lors de l'utilisation de certains produits ou durant certaines opérations.

Certaines pratiques peuvent être à risque et nécessitent davantage de précautions, c'est notamment le cas de l'opération de décuvage lors des vinifications en rouge.

Pour cela, Château Margaux veut prévenir tout risque lié au dégagement de CO₂ et éviter un accident avec un opérateur.

Des extracteurs d'air sont positionnés dans la cuve trente minutes avant l'entrée des opérateurs dans la cuve. Chaque opérateur sera équipé d'un capteur lui indiquant d'un signal sonore si les taux de CO₂ deviennent risqués (au-delà de 1% de l'air ambiant).

De plus, afin d'assurer une sécurité en plus, un opérateur est systématiquement placé au-dessus de la cuve en cours de démarquage, en cas d'accident avec l'opérateur au sein de celle-ci.

De nombreux membres des équipes, aussi bien aux bureaux, à la vigne ou au chai ont reçu une formation de sauveteurs-secouristes. En cas d'accidents, ceux-ci servent de référents.

Conclusion

La naissance d'un grand vin est un exercice de longue haleine, réquisitionnant une attention continue des hommes, de la vigne jusqu'aux toutes dernières étapes de l'élevage.

L'adaptation fut le maître-mot de ce millésime 2022 qui subit de nombreux risques climatiques. La saison commença avec un épisode de gel début avril durant lequel toutes les équipes se mobilisèrent. Les mois suivants furent marqués par des pluies rares et des températures jusque-là rarement atteintes dans la région bordelaise.

Dans ces conditions, Château Margaux se doit de tenir deux rôles : préserver des traditions de vinifications et viticoles tout en préparant le futur grâce à de nombreuses expérimentations.

La tradition est encore bien présente aussi bien à la vigne qu'au chai.

Chacune des parcelles de vigne possède un suivi personnalisé, avec un calendrier qui lui est propre et finira par être vendangée manuellement.

Au chai, les récentes cuves thermorégulées côtoient l'ancien cuvier bois et des méthodes comme le soutirage à l'esquive qui ne sont plus pratiquées que par une minorité de propriétés.

Néanmoins, les nouvelles technologies rythment le quotidien de la propriété : capteurs GPS et de température au vignoble, outils informatiques permettant de piloter finement les vinifications ou bien QR-Codes sur les bouteilles de vins.

De plus, la branche Recherche et Développement œuvre à dessiner un futur viable et soutenable pour la viticulture de demain. Les méthodes à la vigne et à la cave sont optimisées et analysées grâce à toutes les expérimentations mises en place.

Ainsi, Château Margaux met en place des essais sur l'utilisation de kaolin afin de lutter contre l'échaudage, problématique des années à venir. Des appareils de suivi en temps réel sur les jus de pressurage des vins blancs sont testés afin de rendre cette opération la plus précise possible. Une expérimentation visant à diminuer les sulfites dans les vins rouges est également en cours de réalisation. La propriété prépare chaque jour le futur tout en étant enracinée dans ses traditions.

Un grand vin se fait également dans la précision, avec un processus de vinification bien précis. Pour les vins blancs, chaque étape, pressurage, débourbage, bâtonnage ou bien ouillage est réalisée avec la plus grande des minuties.

Les vins rouges sont accompagnés tout au long de leur cuvaison, avec des remontages non aérés et aérés, dont le nombre est adapté à chaque millésime. Sur le 2022, l'extraction s'est voulue douce et le nombre de remontages fut plus faible.

Jusqu'à la fin des deux fermentations, alcoolique et malolactique, chaque lot est suivi grâce aux outils présents dans le laboratoire du chai Foster. Les vins iront ensuite entamer une période d'élevage allant d'un an à 22 mois en fonction du vin.

L'obtention du produit fini, en bouteille, est la résultante d'une multitude d'interactions, entre le terroir, les hommes et la technique. Chaque nouveau millésime offre de nouveaux défis et Château Margaux œuvre chaque jour afin de pouvoir continuer à faire rayonner son vignoble et ses vins à travers le monde.

Bibliographie

- Adrian, Marielle, Philippe Jeandet, Jérôme Veneau, Leslie A. Weston, et Roger Bessis. 1997.** « Biological Activity of Resveratrol, a Stilbenic Compound from Grapevines, Against Botrytis Cinerea, the Causal Agent for Gray Mold ». *Journal of Chemical Ecology* 23 (7): 1689-1702. <https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000006444.79951.75>.
- Baiano, Antonietta, et Gabriella Varva. 2019.** « Evolution of Physico-Chemical and Sensory Characteristics of Minutolo White Wines during Aging in Amphorae: A Comparison with Stainless Steel Tanks ». *LWT* 103 (avril): 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.065>.
- Bakaï, Marie-France. 2015.** « Développement d'un procédé de réduction des sulfites dans les vins ». Phdthesis, Université de Bordeaux. <https://theses.hal.science/tel-01359189>.
- Bal, Florence. 2014.** « Le pigeage, le geste ancestral qui a fait la gloire de la Bourgogne ». *Revue du vin de France*, n° 585: 89.
- Beltran, Gemma, Maite Novo, José M. Guillamón, Albert Mas, et Nicolas Rozès. 2008.** « Effect of Fermentation Temperature and Culture Media on the Yeast Lipid Composition and Wine Volatile Compounds ». *International Journal of Food Microbiology* 121 (2): 169-77. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.11.030>.
- Bourzeix, M., J. Mourgues, et S. Aubert. 1970.** « Influence de La Durée de Macération Sur La Constitution En Polyphénols et Sur La Dégustation Des Vins Rouges ». *OENO One* 4 (4): 447-63. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.1970.4.4.2014>.
- Cameron, W., P.r. Petrie, E.w.r. Barlow, C.j. Patrick, K. Howell, et S. Fuentes. 2021.** « Is Advancement of Grapevine Maturity Explained by an Increase in the Rate of Ripening or Advancement of Veraison? » *Australian Journal of Grape and Wine Research* 27 (3): 334-47. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12481>.
- Carmen Llaudy, María del, Roser Canals, Susana González-Manzano, Joan Miquel Canals, Celestino Santos-Buelga, et Fernando Zamora. 2006.** « Influence of Micro-Oxygenation Treatment before Oak Aging on Phenolic Compounds Composition, Astringency, and Color of Red Wine ». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (12): 4246-52. <https://doi.org/10.1021/jf052842t>.
- Chatonnet, Pascal, Jean-Noël Boidron, et Denis Dubourdieu. 1993.** « Influence Des Conditions d'élevage et de Sulfitage Des Vins Rouges En Barriques Sur Leur Teneur En Acide Acétique et En Éthyl-Phénols ». *International Viticulture and Enology Society*. <https://doaj.org/article/9193b9854b854baeae6b8e8f07c363f3>.
- Chevalier, Michel, E. Perrochon, Alain Clément, Anne-Laure Dubot, Marie Tellier, Yves Cadot, et Gerard Barbeau. 2003.** « Utilisation de l'analyse d'images pour l'étude des composés phénoliques de la pellicule de baie de raisin (vitis vinifera 2., c.v. Cabernet Franc) », janvier.
- Chevalier, Veronique, Alexandre Pons, et Christophe Loisel. 2018.** « Impact de l'obturateur sur le vieillissement des vins en bouteille Partie 1/3 – Caractérisation des transferts d'oxygène de bouchons en liège ». <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03205345>.

- Chioru, Ana, Gilles Masson, Laure Cayla, Quynh Lan Truong, et Jorj Ciumac. 2016.** « Incidence de l'oxydation et des antioxydants sur l'oxydabilité et les caractéristiques chromatiques des mouts roses ». <http://repository.utm.md/handle/5014/885>.
- Cibrario, Alice. 2017.** « Diversité génétique et phénotypique de l'espèce *Brettanomyces bruxellensis* : influence sur son potentiel d'altération des vins rouges ». Phdthesis, Université de Bordeaux. <https://theses.hal.science/tel-02170503>.
- Claus, Harald, Andrea Sabel, et H. König. 2014.** « Wine phenols and laccase: An ambivalent relationship ». In , 155-85.
- Darné, Gérard. 1991.** « Recherches sur la composition en anthocyanes des grappes et des feuilles de vigne ». These de doctorat, Bordeaux 1. <https://www.theses.fr/1991BOR10543>.
- Doumouya, Stéphanie, Marc Lahaye, Chantal Maury, et René Siret. 2014.** « Physical and Physiological Heterogeneity within the Grape Bunch: Impact on Mechanical Properties during Maturation ». *American Journal of Enology and Viticulture* 65 (2): 170-78. <https://doi.org/10.5344/ajev.2014.13062>.
- Falginella, Luigi, Federica Gaiotti, Nicola Belfiore, Giovanni Mian, Lorenzo Lovat, et Diego Tomasi. 2022.** « Effect of Early Cane Pruning on Yield Components, Grape Composition, Carbohydrates Storage and Phenology in *Vitis Vinifera* L. Cv. Merlot ». *OENO One* 56 (3): 19-28. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2022.56.3.5466>.
- Flanzy Claude. 1998.** « Œnologie, fondements scientifiques et technologiques ». Librairie Lavoisier. 1998. <https://www.lavoisier.fr/livre/agro-alimentaire/oenologie/flanzy/descriptif-9782743002435>.
- Frédéric, Luc. 2021.** « Suivi de l'évolution des vins rouges en cours d'élevage : impact de l'élevage en amphore et comparaison avec l'élevage en barrique ». Other, Château Lilian Ladouys, Ladouys N, 33180 Saint-Estèphe. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03720026>.
- Frémont, Lucie. 2000.** « Biological Effects of Resveratrol ». *Life Sciences* 66 (8): 663-73. [https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(99\)00410-5](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(99)00410-5).
- Glories, Yves. 1984.** « La Couleur Des Vins Rouges. Ire Partie : Les Équilibres Des Anthocyanes et Des Tanins ». *International Viticulture and Enology Society*. <https://doaj.org/article/e7ac49f4766a4a0ea8f414d9c13d0dae>.
- Gómez-Plaza, E., et M. Cano-López. 2011.** « A Review on Micro-Oxygenation of Red Wines: Claims, Benefits and the Underlying Chemistry ». *Food Chemistry* 125 (4): 1131-40. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.034>.
- González-Arenzana, Lucía, Robert Sevenich, Cornelia Rauh, Rosa López, Dietrich Knorr, et Isabel López-Alfaro. 2016.** « Inactivation of *Brettanomyces bruxellensis* by High Hydrostatic Pressure Technology ». *Food Control* 59 (janvier): 188-95. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.04.038>.
- Habib, Elissa Abi. 2020.** « Extraction des anthocyanes et des tanins en vinifications en rouge : étude de certains mécanismes et impact de la matière première ». Phdthesis, Montpellier SupAgro. <https://theses.hal.science/tel-04031760>.

- Jurd, Leonard. 1964.** « Reactions Involved in Sulfite Bleaching of Anthocyanins ». *Journal of Food Science* 29 (1): 16-19. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1964.tb01685.x>.
- King, Robert E., Joshua A. Bomser, et David B. Min. 2006.** « Bioactivity of Resveratrol ». *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 5 (3): 65-70. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.00001.x>.
- Langcake, P., et W. V. McCarthy. 1979.** « The Relationship between Resveratrol Production to Infection of Grapevine Leaves by Botrytis Cinerea. » *Vitis* 18 (3): 244-53.
- Ledoux, Virginie, Laurent Dulau, et Denis Dubourdieu. 1992.** « Interprétation de l'amélioration de La Stabilité Protéique Des Vins Au Cours de l'élevage Sur Lies ». *OENO One* 26 (4): 239-51. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.1992.26.4.1188>.
- Li, Lingxi, et Baoshan Sun. 2019.** « Grape and wine polymeric polyphenols: Their importance in enology ». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59 (4): 563-79. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1381071>.
- Lira, Eugenio, Fernando N. Salazar, Juan J. Rodríguez-Bencomo, Simone Vincenzi, Andrea Curioni, et Francisco López. 2014.** « Effect of Using Bentonite during Fermentation on Protein Stabilisation and Sensory Properties of White Wine ». *International Journal of Food Science & Technology* 49 (4): 1070-78. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12402>.
- Lobos, G. A., C. Acevedo-Opazo, A. Guajardo-Moreno, H. Valdes-Gomez, J. A. Taylor, et V. F. Laurie. 2015.** « Effects of Kaolin-Based Particle Film and Fruit Zone Netting on Cabernet Sauvignon Grapevine Physiology and Fruit Quality ». *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin*. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2015.49.2.86>.
- Marais, J. 1998.** « Effect of Grape Temperature, Oxidation and Skin Contact on Sauvignon Blanc Juice and Wine Composition and Wine Quality ». *South African Journal of Enology and Viticulture* 19 (1): 10-16. <https://doi.org/10.21548/19-1-2238>.
- Marchal, Axel. 2010.** « Recherches sur les bases moléculaires de la saveur sucrée des vins secs : approches analytique et sensorielle ». These de doctorat, Bordeaux 2. <https://www.theses.fr/2010BOR21779>.
- Mirabel, Marie. 2000.** « Caractéristiques chimiques et organoleptiques des tanins des raisins de Vitis vinifera var. Merlot et Cabernet Sauvignon issus de différents terroirs bordelais ». These de doctorat, Bordeaux 2. <https://www.theses.fr/2000BOR20794>.
- Moine-Ledoux, V., et D. Dubourdieu. 2002.** « Role of yeast mannoproteins with regard to tartaric stabilization of wines ». *Bulletin de l'OIV (France)*. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Role+of+yeast+mannoproteins+with+regard+to+tartaric+stabilization+of+wines&author=Moine-Ledoux%2C+V.+%28%28Universit%C3%A9+Bordeaux+2%2C+Talence+%28France%29.+Facult%C3%A9+d%27Oenologie%29%29&publication_year=2002.
- Molina, Ana M., Jan H. Swiegers, Cristian Varela, Isak S. Pretorius, et Eduardo Agosin. 2007.** « Influence of Wine Fermentation Temperature on the Synthesis of Yeast-Derived Volatile Aroma Compounds ». *Applied Microbiology and Biotechnology* 77 (3): 675-87. <https://doi.org/10.1007/s00253-007-1194-3>.

- Moutounet, M., J. P. Mazauric, B. Saint Pierre, et J. F. Hanocq. 1998.** « Gaseous Exchange in Wines Stored in Barrels. » *Journal Des Sciences et Techniques de La Tonnelerie (France)*. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Gaseous+exchange+in+wines+stored+in+barrels.&author=Moutounet%2C+M.+%28Institut+National+de+la+Recherche+Agronomique%2C+Montpellier+%28France%29.+Cezntre+de+Montpellier%2C+Polymeres+et+Techniques+Physicochimiques%29&publication_year=1998.
- Nicolini, G., S. Moser, T. Román, E. Mazzi, et R. Larcher. 2011.** « Effect of Juice Turbidity on Fermentative Volatile Compounds in White Wines ». *VITIS - Journal of Grapevine Research* 50 (3): 131-131. <https://doi.org/10.5073/vitis.2011.50.131-135>.
- Novello, Vittorino, Laura de Palma, Luigi Tarricone, et Giuliano Vox. 2000.** « Effects of Different Plastic Sheet Coverings on Microclimate and Berry Ripening of Table Grape Cv “Matilde” ». *OENO One* 34 (2): 49-55. <https://doi.org/10.20870/oenone.2000.34.2.1011>.
- Osvaldo Colagrande. 1981.** « Utilisation d’un Vinificateur à Remontage Automatique Pour l’élaboration Des Vins Rouges ». *OENO One* 15 (2): 125-41. <https://doi.org/10.20870/oenone.1981.15.2.1790>.
- Partington, Eric. 2020.** *Stainless Steel in the Food and Beverage Industry*.
- Peel, M. C., B. L. Finlayson, et T. A. McMahon. 2007.** « Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification ». *Hydrology and Earth System Sciences* 11 (5): 1633-44. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>.
- Pelonnier-Magimel, Edouard. 2021.** « Les vins rouges de Bordeaux élaborés sans dioxyde de soufre : approches de caractérisation sensorielle et chimique des vins de qualité ». These de doctorat, Bordeaux. <https://www.theses.fr/2021BORD0386>.
- Printz, Bruno, Stanley Lutts, Jean-Francois Hausman, et Kjell Sergeant. 2016.** « Copper Trafficking in Plants and Its Implication on Cell Wall Dynamics ». *Frontiers in Plant Science* 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00601>.
- Renouf, V., M. Falcou, C. Miot-Sertier, M. C. Perello, G. De Revel, et A. Lonvaud-Funel. 2006.** « Interactions between *Brettanomyces bruxellensis* and other yeast species during the initial stages of winemaking ». *Journal of Applied Microbiology* 100 (6): 1208-19. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02959.x>.
- Renouf, Vincent, Olivier Trégoat, Jean-Philippe Roby, et Cornelis van Leeuwen. 2010.** « Soils, Rootstocks and Grapevine Varieties in Prestigious Bordeaux Vineyards and Their Impact on Yield and Quality ». *OENO One* 44 (3): 127-34. <https://doi.org/10.20870/oenone.2010.44.3.1471>.
- Reynolds, Andrew G. 1989.** « Impact of pruning strategy, cluster thinning, and shoot removal on growth, yield, and fruit composition of low-vigor de chaunac vines ». *Canadian Journal of Plant Science* 69 (1): 269-75. <https://doi.org/10.4141/cjps89-036>.
- Ribéreau-Gayon, Pascal. 1999.** « Observations Related to the Causes and Consequences of Stuck Fermentation in Vinification ». *OENO One* 33 (1): 39-48. <https://doi.org/10.20870/oenone.1999.33.1.1041>.

- Rochard, J., C. Monamy, B. Pauthier, et A. Rocque. 2019.** « Stratégie et équipements de prévention vis-à-vis du gel de printemps et de la grêle. Perspectives en lien avec les changements climatiques, projet ADVICLIM ». *BIO Web of Conferences* 12: 01012. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191201012>.
- Rochard, Joël , Viaud Marie-Noëlle , Moncomble Dominique. 1996.** « Hygiène dans les caves et environnement ». *Congrès mondial de la Vigne et du Vin, OIV*.
- Rousseaux, Sandrine, Marta Avramova, Cédric Longin, Julie Maupeu, Amélie Vallet-Courbin, Warren Albertin, Claudine Degueurce, et al. 2019.** « Diversité des Brettanomyces et de leur résistance au SO₂. Les nouvelles avancées vers une meilleure gestion du SO₂ en vinification. » *Revue des Oenologues et des Techniques Vitivinicoles et Oenologiques* 47 (74): 51.
- Salazar, Fernando N., et Isabel Achaerandio. 2006.** « Comparative Study of Protein Stabilization in White Wine Using Zirconia and Bentonite: Physicochemical and Wine Sensory Analysis ». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (26): 9955-58. <https://doi.org/10.1021/jf062632w>.
- Schmauch, Grégory. 2010.** « Interactions tanins-protéines en oenologie ». These de doctorat, Bordeaux 2. <https://www.theses.fr/2010BOR21703>.
- Sepúlveda, Gonzalo, et W. Mark Kliewer. 1986.** « Effect of High Temperature on Grapevines (*Vitis Vinifera* L.). II. Distribution of Soluble Sugars ». *American Journal of Enology and Viticulture* 37 (1): 20-25. <https://doi.org/10.5344/ajev.1986.37.1.20>.
- Setford, Patrick C., David W. Jeffery, Paul R. Grbin, et Richard A. Muhlack. 2017.** « Factors Affecting Extraction and Evolution of Phenolic Compounds during Red Wine Maceration and the Role of Process Modelling ». *Trends in Food Science & Technology* 69 (novembre): 106-17. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.09.005>.
- Smart, Richard E., et Thomas R. Sinclair. 1976.** « Solar Heating of Grape Berries and Other Spherical Fruits ». *Agricultural Meteorology* 17 (4): 241-59. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(76\)90029-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(76)90029-7).
- Suárez, R., J. A. Suárez-Lepe, A. Morata, et F. Calderón. 2007.** « The Production of Ethylphenols in Wine by Yeasts of the Genera Brettanomyces and Dekkera: A Review ». *Food Chemistry* 102 (1): 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.030>.
- Taillandier, P., C. Joannis-Cassan, J.-B. Jentzer, S. Gautier, N. Sieczkowski, D. Granes, et C. Brandam. 2015.** « Effect of a fungal chitosan preparation on Brettanomyces bruxellensis, a wine contaminant ». *Journal of Applied Microbiology* 118 (1): 123-31. <https://doi.org/10.1111/jam.12682>.
- Terblanche, Etienne Louis Adriaan. 2019.** « The Impact of Grape Ripeness Level on Berry and Wine Composition and Potential Wine Style of *Vitis Vinifera* L Cv. Pinotage ». Thesis, Stellenbosch : Stellenbosch University. <https://scholar.sun.ac.za:443/handle/10019.1/106248>.
- Thind, T. S., J. K. Arora, C. Mohan, et Prem Raj. 2004.** « Epidemiology of Powdery Mildew, Downy Mildew and Anthracnose Diseases of Grapevine ». In *Diseases of Fruits and Vegetables Volume I: Diagnosis and Management*, édité par S. A. M. H. Naqvi, 621-38. Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-2606-4_14.

- Vilela, Alice. 2018.** « Lachancea Thermotolerans, the Non-Saccharomyces Yeast That Reduces the Volatile Acidity of Wines ». *Fermentation* 4 (3): 56. <https://doi.org/10.3390/fermentation4030056>.
- Vox, G., G. Scarascia Mugnozza, E. Schettini, L. de Palma, L. Tarricone, G. Gentilesco, et M. Vitali. 2012.** « RADIOMETRIC PROPERTIES OF PLASTIC FILMS FOR VINEYARD COVERING AND THEIR INFLUENCE ON VINE PHYSIOLOGY AND PRODUCTION ». *Acta Horticulturae*, n° 956 (octobre): 465-72. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.54>.
- Wedral, Danielle, Robert Shewfelt, et Joseph Frank. 2010.** « The Challenge of Brettanomyces in Wine ». *LWT - Food Science and Technology, Wine: Parameters impacting composition and quality*, 43 (10): 1474-79. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.06.010>.
- Zimdars, Sabrina, Julia Hitschler, Andreas Schieber, et Fabian Weber. 2017.** « Oxidation of Wine Polyphenols by Secretomes of Wild Botrytis cinerea Strains from White and Red Grape Varieties and Determination of Their Specific Laccase Activity ». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65 (48): 10582-90. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04375>.
- Zoecklein, Bruce W., Kenneth C. Fugelsang, Barry H. Gump, et Fred S. Nury. 1995.** « Volatile Acidity ». In *Wine Analysis and Production*, édité par Bruce W. Zoecklein, Kenneth C. Fugelsang, Barry H. Gump, et Fred S. Nury, 192-98. Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-6978-4_11.

ANNEXES

°Bx		°Oe	°B		Titre Alcoométrique Potentiel en fonction du rendement en alcool (sucres pour 1% vol.d'alcool)		
					16,83 g/L	17 g/L	18g/L
Brix	Densité	Degré Oechsle	Baumé	Sucres (g/L)			
24,0	1,1011	101,1	13,246	240,1	14,27	14,12	13,34
23,8	1,1001	100,1	13,137	237,8	14,13	13,99	13,21
23,6	1,0992	99,2	13,028	235,5	13,99	13,85	13,08
23,4	1,0983	98,3	12,918	232,6	13,82	13,68	12,92
23,2	1,0974	97,4	12,809	230,3	13,68	13,54	12,79
23,0	1,0965	96,5	12,700	228,5	13,58	13,44	12,69
22,8	1,0956	95,6	12,591	226,2	13,44	13,31	12,57
22,6	1,0947	94,7	12,481	225,1	13,37	13,24	12,51
22,4	1,0938	93,8	12,372	222,8	13,24	13,11	12,38
22,2	1,0929	92,9	12,263	220,5	13,10	12,97	12,25
22,0	1,0920	92,0	12,153	217,6	12,93	12,80	12,09
21,8	1,0911	91,1	12,044	215,3	12,79	12,66	11,96
21,6	1,0901	90,1	11,935	212,4	12,62	12,49	11,80
21,4	1,0892	89,2	11,825	210,1	12,48	12,36	11,67
21,2	1,0884	88,4	11,716	207,8	12,35	12,22	11,54
21,0	1,0875	87,5	11,606	206,7	12,28	12,16	11,48
20,8	1,0866	86,6	11,497	202,7	12,04	11,92	11,26

Annexe 1 : Table de conversion du Titre Alcoométrique Potentiel en fonction du rendement en alcool (sucres pour 1% vol. d'alcool). Source : LAFFORT

ANALYSES + Nouvel ordre d'analyse

Résultats de l'analyse

Lot : 085.0-1-ZA
 Description :
 Contenant : 85-Jean Brun Ouest
 Modèle : Contrôle maturité (1er)
 Préleveur : Equipe R&D
 Laboratoire : Labo Interne

Date de l'analyse : Vendredi 16 Septembre 2022 11:41

Poids des bales : 180,40 g
 Nombre de bales : 200,00
 Densité : 1 107,60

Température : 23,20 °C
 pH : 3,96
 Acidité totale : 2,82 g/L H2SO4

Acide L-Malique : 1,33 g/L
 Préleveur : TF
 Observation : Initiale

Preleveur Labo Statut

- 3 analyses >
- 8 analyses >
- 7 analyses >
- Equipe Labo Interne Cliquez
- 6 analyses >
- 6 analyses >
- 19 analyses >
- 6 analyses >
- 22 analyses >
- 12 analyses >

Demière actualisation le 02/12/22 à 12h47

Annexe 2 : Capture d'écran du logiciel PROVINO indiquant le suivi d'analyse d'un vin.

Référence laboratoire	22066438			
(c) Identification du prélèvement	Lot : C84.0 FML (41.1 FA) - BQ			
(c) Site de prélèvement				
(c) Informations complémentaires				
(c) Appellation	Vin Rouge	Date de réception	10/11/2022	(c) Volume
(c) Matrice/Couleur		Date fin d'analyse	12/12/2022	
(c) Millésime				

Paramètre	Méthode	Résultat	Incertitude	Unité
Intensité colorante modifié (ICM) DO 420, 520, 620	* MO 19: Spectrophotométrie UV-visible manuelle	14.70		
DO 420	* MO 19 : Spectrophotométrie	5.13	13%	
DO 520	* MO 19 : Spectrophotométrie	7.86	15%	
DO 620	* MO19 : Spectrophotométrie	1.71	18%	
Indice d'éthanol	Glories	18		%
Indice de gélatine	Glories	49		%
Indice d'HCL	Glories	20		%
Polyphénols totaux (en acide gallique)	Calcul à partir du Folin	3095		mg/l eq a gallique
<u>Anthocyanes</u>				
Anthocyanes totaux <i>LQ=30</i>	Décoloration au SO ₂ , spectrophotométrie	986		mg/L eq. malvidine
<u>Composés phénoliques</u>				
Degré de polymérisation	LC/MS	3.62		
Prodelphinidines <i>LD=0.1</i>	LC/MS	16.2		%
Galloylation	LC/MS	0.9		%

Annexe 3 : Bulletin d'analyse de fin FML pour la modalité remontage.

Référence laboratoire		22068681		
(c) Identification du prélèvement		LOT : 82.0 FML (45.0 FA) - BQ 2		
(c) Site de prélèvement				
(c) Informations complémentaires				
(c) Appellation		Date de réception 21/11/2022		(c) Volume
(c) Matrice/Couleur		Date fin d'analyse 19/12/2022		
(c) Millésime		Vin Rouge		

Paramètre	Méthode	Résultat	Incertitude	Unité
Intensité colorante modifié (ICM) DO 420, 520, 620	* MO 19: Spectrophotométrie UV-visible manuelle	15.73		
DO 420	* MO 19 : Spectrophotométrie	5.48	13%	
DO 520	* MO 19 : Spectrophotométrie	8.44	15%	
DO 620	* MO19 : Spectrophotométrie	1.81	18%	
Indice d'éthanol	Glories	13		%
Indice de gélatine	Glories	48		%
Indice d'HCL	Glories	16		%
Polyphénols totaux (en acide gallique)	Calcul à partir du Folin	4035		mg/l eq a gallique
<u>Anthocyanes</u>				
Anthocyanes totaux <i>LQ=30</i>	Décoloration au SO ₂ , spectrophotométrie	935		mg/L eq. malvidine
<u>Composés phénoliques</u>				
Degré de polymérisation	LC/MS	3.13		
Prodelphinidines <i>LD=0.1</i>	LC/MS	13.2		%
Galloylation	LC/MS	0.6		%

Annexe 4 : Bulletin d'analyse de fin FML pour la modalité R'Pulse.

Laboratoire Œnologique BOISSENOT

Analyses, Conseils, Audits

59, Rue Principale - F 33460 LAMARQUE

Téléphone : +33 (0)5 56 58 91 74 - Fax : +33 (0)5 56 58 98 36

RAPPORT D'ANALYSES N°103851

Château MARGAUX

33460 MARGAUX

Emis le 04/05/2023 à LAMARQUE

N° Labo	2305040003	2305040004	2305040005	2305040006	2305040007
Enreg. le	04/05/2023	04/05/2023	04/05/2023	04/05/2023	04/05/2023
N° lot	17832	17833	17834	17835	17836
Contenant	REMONTAGER PULSE P1	TEMOIN	ROOLIN	EFFEULLAG	E PRECOCE
vol.	-	-	-	-	-
Couleur	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Millesime	2022	2022	2022	2022	2022
Commentaire	C23RD	C25RD	RD0708FA	RD0910FA	RD1112FA
Titre Alcoométrique Vol. 20°C (% VOL)	14.56	14.40	14.88	15.05	15.15
Sucres Réducteurs (g/l)	<2	<2	<2	<2	<2
Glucose + Fructose (g/l)	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2
Acidité Totale (g/l H2SO4)	3.06	3.23	3.06	3.05	3.05
pH	3.73	3.75	4.23	4.24	4.25
Acidité Volatile (g/l H2SO4)	0.19	0.22	0.29	0.30	0.36
Anhydride Sulfureux Libre (mg/l)	27	32	29	27	29
Anhydride Sulfureux Total (mg/l)	42	54	48	46	41
SO2 actif à 15°C (mg/l)	0.36	0.40	0.12	0.11	0.12
SO2 actif à 18°C (mg/l)	0.44	0.49	0.15	0.14	0.15
Acide L-malique (g/l)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Indice de polyphénols totaux	91	83	84	85	85
CO2 (mg/l)	717	688	743	687	759
DO 420	6.82	6.02	7.77	8.29	8.61
DO 520	11.20	9.61	10.37	10.94	11.07
DO 620	2.75	2.34	3.09	3.35	3.43
ICM	20.77	17.97	21.23	22.58	23.11

Annexe 5 : Bulletin d'analyse d'avant mise en bouteille pour les essais R&D.

DECATARTRE LIQUIDE

Produit de détartrage des cuves à vins et des différents circuits vinaires.
Agréé pour le contact avec les surfaces alimentaires.

Caractéristiques physiques

Nature.....	Alcalin
Etat physique.....	Liquide
Aspect.....	Incolore à jaune clair
Densité (g/l).....	1,51 ± 0,02 à 20°C
pH à 1% (m/v).....	12,7 ± 0,5 en eau distillée à 20°C
Sensibilité au gel.....	+ 5°C

Emploi en œnologie

Produit de détartrage de la cuverie et du matériel vinair. Action nettoyante renforcée par des complexants et des mouillants.

Compatibilité : utilisation déconseillée sur les métaux légers et colorés et sur certaines résines sensibles aux produits alcalins.

Dosage préconisé :

- Cuves : 1 à 15 %
- Conduites, supports de filtres à plaques et filtres kieselguhr 1 à 5%.

Température d'utilisation : 20 à 70°C.

Durée d'action : 10 à 40 minutes.

Pour les cuveries en résine epoxy, utiliser à faible concentration : 2 % à température ambiante.
Rincer après emploi avec de l'eau potable jusqu'à pH neutre.

Recommandation de conservation

- Conserver dans son emballage d'origine fermé, à l'abri du soleil, loin de toute source de chaleur, et dans un local aéré à température modérée.
- Pas de proximité avec d'autres produits incompatibles tels que les acides.
- DLUO : 2 ans.

Conditionnement

Jerrican de 26kg.

Annexe 6 : Fiche d'utilisation du DECATARTRE LIQUIDE. Source : Laffort.com

DECAPOL ACTIF

Activateur de détergence
Agréé pour le contact avec les surfaces alimentaires.

Caractéristiques physico-chimiques

Nature.....	Acide
Etat physique.....	Liquide
Aspect.....	Incolore
Densité (g/l).....	1,13 ± 0,02 à 20°C
pH à 1% (m/v).....	5,4 ± 0,2 en eau distillée à 20°C
Pouvoir moussant.....	Non moussant

Emploi en œnologie

Produit de dérougissage à base de peroxyde d'hydrogène. Effet sanitant.

Compatibilité :

- Utilisation déconseillée sur métaux légers et colorés.
- Ne jamais mélanger avec un produit alcalin chloré pur ou dilué, ne jamais mélanger avec un produit alcalin pur : risque de réaction dangereuse avec projections et dégagement gazeux toxique.

Dosage préconisé : 0,2 à 2% (m/v) dans une solution alcaline diluée ou dans l'eau.

Température d'utilisation : ambiante à 80°C.

Durée d'action : 10 à 60 minutes.

Rincer après emploi avec de l'eau potable jusqu'à pH neutre.

Stockage – D.L.U.O.

- Conserver dans son emballage d'origine fermé, à l'abri du soleil, loin de toute source de chaleur, et dans un local aéré à température modérée.
- Pas de proximité avec d'autres produits incompatibles tels que les alcalins ou les alcalins chlorés.
- DLUO : 2 ans.

Conditionnement

Jerrican de 21kg.

Annexe 7 : Fiche d'utilisation du DECAPOL ACTIF. Source : Laffort.com

Résumé et mot clés

Titre : Présentation des vinifications à Château Margaux – Millésime 2022

Les vins du Médoc et de l'appellation Margaux sont reconnus dans le monde entier. Château Margaux, 1^{er} Grand Cru Classé, se veut à la fois garant d'une tradition tout en étant à la pointe des dernières innovations viticoles et œnologiques.

La culture de la vigne ainsi que l'ensemble des processus de vendange et de vinifications sont suivis avec minutie par l'ensemble des équipes de la propriété qui mettent tout en œuvre pour obtenir un vin d'exception.

Le domaine produit à la fois une gamme composée de plusieurs vins rouges, dont le grand vin, ainsi qu'un vin blanc. Chaque processus de vinification possède ses spécificités et ses méthodes.

Le millésime 2022 fut riche de nombreux défis, avec les gelées au début du mois d'avril suivies d'un été sec et particulièrement chaud.

Lors de ce millésime, une étude portant sur le R-Pulse en comparaison des remontages traditionnels a été réalisée.

Mots clés : Vinification, Margaux, Médoc, œnologie, itinéraire de vinification.

Title: Presentation of the vinification process at Château Margaux – Vintage 2022

Wines made in the Médoc region and having the designation 'Margaux' are famous around the world. Château Margaux –1st ranked Grand Cru – is the guarantor of a tradition while being at the peak of the last innovations in winegrowing and oenology.

The culture of grapevines as well as the entirety of the processes of harvest and vinification are minutely observed by all the teams on the estate who go above and beyond to obtain an exceptional wine.

The wine estate produces an array of multiple red wines – of which the first wine – as well as white wines. Each process of vinification has its own specificity and methods.

The 2022 vintage was rich in challenges because of the frost in early April followed by a particularly hot and dry Summer.

During this vintage a study was made on the use of the R-Pulse in comparison with traditional air mixing techniques.

Key Words: Winemaking, Margaux, Médoc, oenology, vinification itinerary

Pour citer ce document : Serp, Alexandre, 2023. Présentation des vinifications à Château Margaux – Millésime 2022. Mémoire de fin d'étude, Diplôme National d'œnologie, l'Institut Agro Montpellier. 84 Pages