



Centre de Recherche
Viticole de Corse

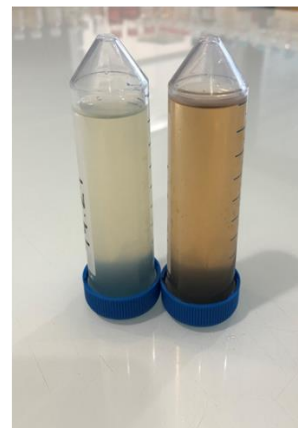
CENTRU DI RICERCA
VITICULA DI CORSICA



FranceAgriMer

ÉTABLISSEMENT NATIONAL
DES PRODUITS DE L'AGRICULTURE ET DE LA MER

Utilisation de l'outil Cilyo, lors de la vinification en blanc, pour l'élaboration de vins à sulfites réduits ou sans sulfites, en complément ou non d'intrants alternatifs au SO_2 ;
comparaison avec la vinification classique avec dioxyde de soufre



Responsables du programme et rédacteurs : Fanny André et Nathalie Uscidda

Sommaire

Introduction et contexte de l'action « Cilyo »	8
1. Présentation de l'essai.....	9
1.1. Etat de l'art	9
1.1.1. Le rôle de l'oxygène dans l'oxydation des moûts et des vins	9
1.1.2. L'intérêt des sulfites pour limiter l'oxydation	9
1.1.3. L'oxygénation précoce des moûts pour limiter l'oxydation	9
1.2. L'oxygénation contrôlée des moûts pour la protection contre l'oxydation grâce à l'outil Cilyo®	10
1.3. Objectifs de l'essai	11
2. Matériels et méthodes	11
2.1. Cépage et vin de base.....	11
2.2. Description des modalités.....	12
2.3. Itinéraire de vinification	13
2.3.1. Vendanges et pressurage des moûts	13
2.3.2. Mesure Cilyo et traitement à l'oxygène	15
2.3.3. Fermentations et élevage	15
2.4. Analyses	17
2.4.1. Analyses physico-chimiques et colorimétriques classiques	17
2.4.2. Analyses microbiologiques	17
2.4.3. Analyses d'arômes	17
2.4.4. Analyse sensorielle	18
2.5. Traitement statistique.....	20
2.5.1. Analyses physico-chimiques classiques	20
2.5.2. Analyses colorimétriques	21
2.5.3. Analyses microbiologiques	21
2.5.4. Analyses d'arômes	21
2.5.5. Analyses sensorielles	21
3. Résultats.....	22
3.1. Caractéristiques des raisins et du moût initial.....	22
3.2. Fermentations alcooliques et malolactiques.....	24
3.3. Analyses physico-chimiques classiques des vins	26
3.3.1. Analyses physico-chimiques classiques	26

3.3.2. Analyses colorimétriques	28
3.4. Analyses microbiologiques des vins.....	32
3.5. Analyses d'arômes.....	33
3.5.1. Thiols volatils	33
3.5.2. Esters fermentaires	36
3.5.3. Terpènes	39
3.6. Dégustations comparatives sur vins finis.....	39
3.6.1. Dégustation à la mise en bouteille	39
3.6.2. Dégustation un an après mise en bouteille	44
Conclusion.....	50
Bibliographie.....	50

Liste des tableaux

Tableau 1 : Analyses physico-chimiques des moûts	23
Tableau 2 : Durées des fermentations alcooliques et malolactiques des différentes modalités pour les millésimes 2021 à 2024	24
Tableau 3 : Analyses physico-chimiques des vins à la mise en bouteille pour les millésimes 2021 à 2024.....	26
Tableau 4 : Thiols dosés dans les vins de l'essai pour lesquels il existe une différence significative entre les modalités.....	33
Tableau 5 : Esters dosés dans les vins de l'essai pour lesquels il existe une différence significative entre les modalités.....	36
Tableau 6 : Synthèse des résultats de l'analyse sensorielle pour chaque millésime (2021 à 2024)	40
Tableau 7 : Synthèse des résultats de l'analyse sensorielle un après mise en bouteille pour chaque millésime (2021 à 2024)	49

Liste des figures

Figure 1 : Outil Cilyo® en cours d'utilisation.....	11
Figure 2 : Grappes de Vermentinu B.	12
Figure 3 : Schéma de vinification de l'essai.....	14
Figure 4 : Pressurage d'une modalité de l'essai (à gauche) et analyse de l'échantillon de moût par l'outil Cilyo®	13
Figure 5 : Prélèvement d'échantillon de moût (à gauche) et analyse de l'échantillon par le Cilyo (à droite).....	15
Figure 6 : Mise en bouteille des vins des différentes modalités	16
Figure 7 : Dégustation des quatre modalités en comparaison	19
Figure 8 : Anonymisation des vins du millésime 2021 pour l'analyse sensorielle	19
Figure 9 : Nuancier utilisé lors des dégustations pour l'évaluation du paramètre "teinte"	20
Figure 10 : Vendanges des raisins à destination de l'essai.....	22
Figure 11 : Cuve de moût au cours de l'injection d'O ₂ (à gauche) et 12h après injection d'O ₂ (à droite)	23
Figure 12 : Cinétiques fermentaires des quatre modalités pour les millésimes 2021 à 2024	25
Figure 13 : Teneur moyenne en SO ₂ libre (à gauche) et SO ₂ total (à droite) des vins à différents stades de la vinification pour les millésimes 2021 à 2024.....	27
Figure 14 : Teneur moyenne en SO ₂ libre (à gauche) et SO ₂ total (à droite) des vins à différents stades de la vinification pour les millésimes 2021 à 2024.....	27
Figure 15 : Acidité volatile moyenne des vins à différents stade de la vinification pour les millésimes 2021 à 2024	28
Figure 16 : IPT moyen dans les modalités traitées avec l'outil Cilyo et sans l'outil Cilyo pour les millésimes 2021 à 2024	28
Figure 17 : Ratio composante bleue/composante jaune moyen des modalités traitées avec l'outil Cilyo et sans l'outil Cilyo pour les millésimes 2021 à 2024	29
Figure 18 : Echantillons de moût lors du débourbage.	29
Figure 19 : Cuves des moûts avant fermentation alcoolique (en haut) et en fin de fermentation alcoolique (en bas) du millésime 2021. Pour chaque photo, de gauche à droite : modalité « Témoin SO ₂ », modalité « Cilyo » et modalité « Cilyo + intrants ».....	30
Figure 20 : Composante jaune moyenne (DO420) des modalités avec sulfites et sans sulfites pour les millésimes 2021 à 2024	31
Figure 21 : Caractéristiques à la mise en bouteille des modalités avec sulfites et sans sulfites pour les millésimes 2021 à 2024	31
Figure 22 : Teneurs moyennes en 3MH des vins pour les millésimes 2021 à 2024	34
Figure 23 : Teneur moyenne en A3MH des vins pour les millésimes 2021 à 2024.....	34
Figure 24 : Teneur moyenne en BMT des vins pour les millésimes 2021 à 2024	35
Figure 25 : Teneur moyenne en thiols (3MH, A3MH, 4MMP, 4MMPOH) des vins pour les millésimes 2021 à 2024	35
Figure 26 : Teneur moyenne en Al des vins pour les millésimes 2021 à 2024.....	37
Figure 27 : Teneur moyenne en APE des vins pour les millésimes 2021 à 2024.....	37
Figure 28 : Teneur moyenne en OE des vins pour les millésimes 2021 à 2024	38

Figure 29 : Notes de dégustation concernant les descripteurs visuels sur les données des millésimes 2021 à 2024	41
Figure 30 : Vins du millésime 2023.....	42
Figure 31 : Notes de dégustation concernant les descripteurs olfactifs sur les données des millésimes 2021 à 2024	43
Figure 32 : Notes de dégustation concernant les paramètres gustatifs sur les données des millésimes 2021 à 2024	43
Figure 33 : Dégustation des vins du millésime 2024	44
Figure 34 : Notes de dégustation un après mise en bouteille concernant les descripteurs visuels sur les données des millésimes 2021 à 2024	45
Figure 35 : Notes de dégustation un an après mise concernant les descripteurs olfactifs sur les données des millésimes 2021 à 2024.....	45
Figure 36 : Notes de dégustation un an après mise concernant les paramètres gustatifs sur les données des millésimes 2021 à 2024.....	46

Glossaire

3MH : 3-mercaptohexan-1-ol

A3MH : Acétate de 3-mercaptohexan-1-ol

ACE : Acétaldéhyde

AI : Acétate d'isoamyle

AL : Acide Lactique

AM : Acide Malique

APE : Acétate de phényléthyle

AT : Acidité Totale

AV : Acidité volatile

BMT : Benzenemethanethiol

CRVI : Centre de Recherche Viticole de Corse

FA : Fermentation Alcoolique

G/F : Glucose/Fructose

IC : Intensité Colorante

IPT : Indice de Polyphénols Totaux

NA : Non Analysé

OE : Octanoate d'éthyle

SO₂L : SO₂ libre

SO₂T : SO₂ total

TAP : Titre Alcoométrique Potentiel

Introduction et contexte de l'action « Cilyo »

Depuis des dizaines d'années les sulfites sont considérés comme des intrants clé en vinification, leurs propriétés antioxydantes et antiseptiques favorisant la stabilité des vins et améliorant leur conservation. Leur consommation n'est néanmoins pas sans conséquences sur la santé, et son usage est à l'opposé des attentes sociétales en faveur d'une consommation plus naturelle, limitant les intrants dans l'alimentation.

Réduire les teneurs en sulfites dans les vins constitue alors un enjeu majeur pour la filière vitivinicole, à l'interface des exigences sociales, des contraintes réglementaires et des impératifs qualitatifs et sanitaires. Plusieurs voies sont investies de manière concomitante.

La première consiste à développer des itinéraires d'élaboration économes en dioxyde de soufre (favoriser l'efficacité des sulfitages tout en les réduisant), facilement transposables en conditions de cave et conduisant à produire des vins contenant moins de sulfites, sans modification de la qualité organoleptique. Le grand défi consiste à obtenir des taux de SO₂ libre élevés pour des totaux bas. Néanmoins, cet itinéraire technique ne s'affranchit pas de la mention « contient des sulfites » au niveau de l'étiquetage des vins.

La seconde voie vise à tester de nouvelles substances capables, in fine, de réduire voire de supprimer les quantités de sulfites dans les vins. Depuis 2014 à 2021, le CRVI a exploré cette voie via des intrants microbiologiques (EPYCA, Primaflora et Pure Lees Longevity). Ces produits se sont révélés plutôt efficaces au niveau microbiologique, mais ont induit des différences d'un point de vue organoleptique par rapport aux vins blancs sulfités.

A cet effet, le CRVI a décidé d'explorer une nouvelle voie dans l'objectif de réduction des sulfites dans les vins : l'utilisation de l'oxygène comme outil de prévention de l'oxydation des vins, *via* le principe de l'oxygénation contrôlée des moûts.

Cette étude vise à évaluer différentes stratégies technologiques permettant de réduire la teneur en sulfites dans les vins, voire de les éliminer complètement, tout en préservant leurs qualités sensorielles et leur stabilité chimique.

1. Présentation de l'essai

1.1. Etat de l'art

1.1.1. Le rôle de l'oxygène dans l'oxydation des moûts et des vins

Sur moûts, l'oxydation fait intervenir principalement les composés phénoliques, en particulier les acides hydroxycinnamiques. Les acides phénols sont oxydés, via des polyphénols oxydases, en orthoquinones très réactives, qui interviennent dans d'autres réactions d'oxydo-réduction (Li et al., 2008 ; Oliveira et al., 2011). Cette oxydation s'accompagne d'un brunissement enzymatique.

Sur vin, elle peut être accompagnée d'une perte d'intensité et/ou de qualité aromatique (Boulton et al., 1996, Vaimakis et Roussis, 1996). Les molécules de la famille des thiols, souvent impliquées dans la notion de « fraîcheur aromatique » des vins (notes d'agrumes, fruits exotiques, bourgeon de cassis) sont très sensibles à l'oxydation (Coetzee et al., 2013), en particulier les molécules de 3MH et de A3MH (notes de pamplemousse et fruit de la passion) comme démontré par Allen et al. (2011).

Des réactions d'oxydation chimiques peuvent également avoir lieu, mais elles sont moins importantes dans le moût que les réactions enzymatiques (Ribéreau-Gayon et al., 2004).

1.1.2. L'intérêt des sulfites pour limiter l'oxydation

Le dioxyde de soufre est couramment utilisé en œnologie pour son rôle à la fois anti-oxydant et antiseptique.

Il limite les réactions d'oxydation (Danilewics, 2007 ; Danilewics et al., 2008), permettant à la fois de limiter le brunissement par blanchiment des o-quinones oxydées, mais également de préserver les molécules aromatiques (Coetzee et al., 2013). Les molécules de la famille des thiols sont parmi les premiers composés aromatiques impactés par l'oxygène (Allen et al., 2011 ; Coetzee et al., 2013 ; Coetzee et al. 2015), mais l'utilisation de SO₂ permet de bloquer les réactions d'oxydation et de les préserver (Coetzee et al., 2013).

1.1.3. L'oxygénation précoce des moûts pour limiter l'oxydation

L'oxygénation précoce des moûts est un procédé physique permettant de limiter ces réactions. Elle consiste à exposer sciemment le moût à l'oxygène de manière à entraîner une oxydation forcée des composés phénoliques qui se polymérisent et présentent alors un poids moléculaire plus élevé. Les substances oxydées précipitent au fond de la cuve, et peuvent ainsi être éliminées lors des étapes de clarification (Schneider, 1998). La concentration en composés phénoliques, et principalement en acides hydroxycinnamiques, étant diminuée (Rihak et al., 2022), la sensibilité du moût à l'oxydation est diminuée (Cheynier et al., 1991Oliveira et al., 2011).

Si ce procédé peut se révéler efficace d'un point de vue chimique, il peut entraîner des conséquences organoleptiques non négligeables. L'apport d'oxygène sur moût implique, lorsqu'il est massif comme dans le cas de l'hyperoxygénation, une modification organoleptique du vin souvent défavorable, avec une perte de qualité et/ou d'intensité et/ou de typicité aromatique (Vaimakis et al., 1996 ; Schneider, 1998 ; du Toit et al., 2007 ; Rihak et al., 2022). En revanche, par la diminution de la teneur en composés phénoliques, principaux responsables des sensations d'astringence et

d'amertume (Schneider, 1998), ce traitement peut participer à améliorer la rondeur en bouche des vins (Rihak et al., 2022).

Il apparaît alors difficile de stabiliser un moût par adjonction d'oxygène sans pénaliser les caractéristiques organoleptiques du vin qui en sera issu.

En ce sens, l'hydroxygénation est souvent considérée comme un procédé physique intéressant pour élaborer des vins sans SO₂. Néanmoins, Rihak et al. (2022) soulignent l'intérêt de cette méthode combinée à l'ajout de sulfites : les vins ainsi obtenus présentaient des teneurs en SO₂ libre légèrement supérieures à celles du témoin pour des teneurs en SO₂ total bien inférieures. Ainsi, l'oxygénation des moûts pourraient également présenter un intérêt dans le cadre de la réduction de la teneur en sulfites des vins.

Par ailleurs, Cheynier et al. (1991) soulignent qu'il est fondamental de mesurer la capacité de consommation de l'oxygène par le moût avant tout traitement d'hydroxygénation. En effet, leur étude montre que les moûts se comportaient différemment, certains ayant déjà consommé la majeure partie de l'oxygène dissous au moment du pressurage, l'hydroxygénation ne présentant, dans ce cas, aucun intérêt. D'autres, en revanche, nécessitaient un fort apport d'oxygène afin de faire réagir la majorité des acides hydroxycinnamiques, le risque étant de ne pas apporter suffisamment d'oxygène : le moût était alors encore très réactif et toujours sensible à l'oxydation.

1.2. L'oxygénation contrôlée des moûts pour la protection contre l'oxydation grâce à l'outil Cilyo®

L'outil Cilyo®, développé par la société Vivelys, se propose de résoudre cette problématique grâce au principe de l'oxygénation contrôlée des moûts.

Contrairement à l'hydroxygénation « classiques » qui peut entraîner une perte de qualité et/ou d'intensité aromatique, cet outil permettrait de déterminer la juste quantité d'oxygène nécessaire à l'élimination des polyphénols instables. De cette manière, l'impact négatif sur le bouquet aromatique du vin est limité au maximum, tout en s'affranchissant du risque que représenterait un apport d'oxygène trop modéré (vin toujours sensible à l'oxydation). Le risque oxydatif est ainsi diminué, et l'aromatique, préservée.

Un échantillon de moût en sortie de pressoir est analysé par l'appareil, qui injecte régulièrement de l'oxygène et suit la vitesse de consommation par le moût. L'appareil indique par la suite la dose d'oxygène conseillée à ajouter au moût avant sa clarification afin de réduire sa sensibilité oxydative ultérieure.

Figure 1 : Outil Cilyo® en cours d'utilisation



1.3. Objectifs de l'essai

L'objectif principal de cet essai est d'acquérir des références techniques et objectives (facilité d'utilisation, éventuelles déviations physico-chimiques, microbiologiques et/ou organoleptiques, respect de la typicité sensorielle) lors de l'emploi de l'appareil Cilyo®, associé ou non à des intrants qui se substituent au SO₂. Il s'agit de déterminer si cet outil peut présenter un intérêt dans le cadre de la réduction, voire de l'abandon, des sulfites au cours de la vinification de Vermentinu, principal cépage blanc de Corse.

2. Matériels et méthodes

Le dispositif expérimental est détaillé à la Figure 4 en page 14.

Le banc d'essai « Cilyo » a été mis en place au Centre de Recherche Viticole de Corse (2021 - 2024).

2.1. Cépage et vin de base

Le vin de base est issu de la variété Vermentinu, cépage blanc principal des AOP de Corse (Figure 2). En Corse, ce cépage éclectique produit des vins qui présentent généralement des notes de fleurs blanches, d'agrumes, de fruits blancs, auxquelles peuvent se mêler des arômes de fruits exotiques, fleurs jaunes et amande, et dont la robe est généralement jaune pâle avec des reflets verts (Bagard et al., 1995 ; Uscidda et al., 2017).

Figure 2 : Grappes de Vermentinu B.



2.2. Description des modalités

Dans cette expérimentation, quatre modalités sont mises en place :

- Modalité « Témoin SO_2 » : cette modalité suit un itinéraire de vinification classique **avec sulfites**. Du dioxyde de soufre est ajouté lors du pressurage ainsi qu'en fin de fermentation alcoolique, afin de limiter l'oxydation et de préserver la stabilité microbiologique,
- Modalité « Cilyo + SO_2 » : cette modalité suit un itinéraire « **sulfites réduits** » où l'outil Cilyo est utilisé sur moût pour améliorer la stabilité oxydative du moût et du vin dans un objectif de diminution des doses de SO_2 par rapport à l'itinéraire témoin. Du SO_2 est ajouté au vin uniquement en fin de fermentation alcoolique afin de limiter l'oxydation et de préserver la stabilité microbiologique.
- Modalité « Cilyo » : cette modalité suit un itinéraire de vinification **sans sulfites**. Le Cilyo est utilisé pour limiter les risques d'oxydation.
- Modalité « Cilyo + intrants » : cette modalité suit un itinéraire de vinification **sans sulfites**. Le Cilyo est utilisé pour limiter les risques d'oxydation, et des intrants alternatifs au SO_2 sont utilisés pour améliorer la stabilité (microbiologique et oxydative) du moût et du vin. La liste des intrants utilisés et leurs modalités de mise en place sont détaillées en partie 2.3.

2.3. Itinéraire de vinification

2.3.1. Vendanges et pressurage des moûts

Le schéma de vinification de l'essai est disponible en Figure 4.

Les raisins sont issus d'une parcelle de vigne expérimentale. Lorsqu'une maturité suffisante au regard des objectifs de l'expérimentation est atteinte, les vendanges sont déclenchées et réalisées manuellement. Les raisins vendangés présentent une très qualité sanitaire bonne à excellente.

A leur arrivée au chai, les raisins sont directement pressés (pressurage de grappes entières) puis mis en cuve en vue de leur débouillage.

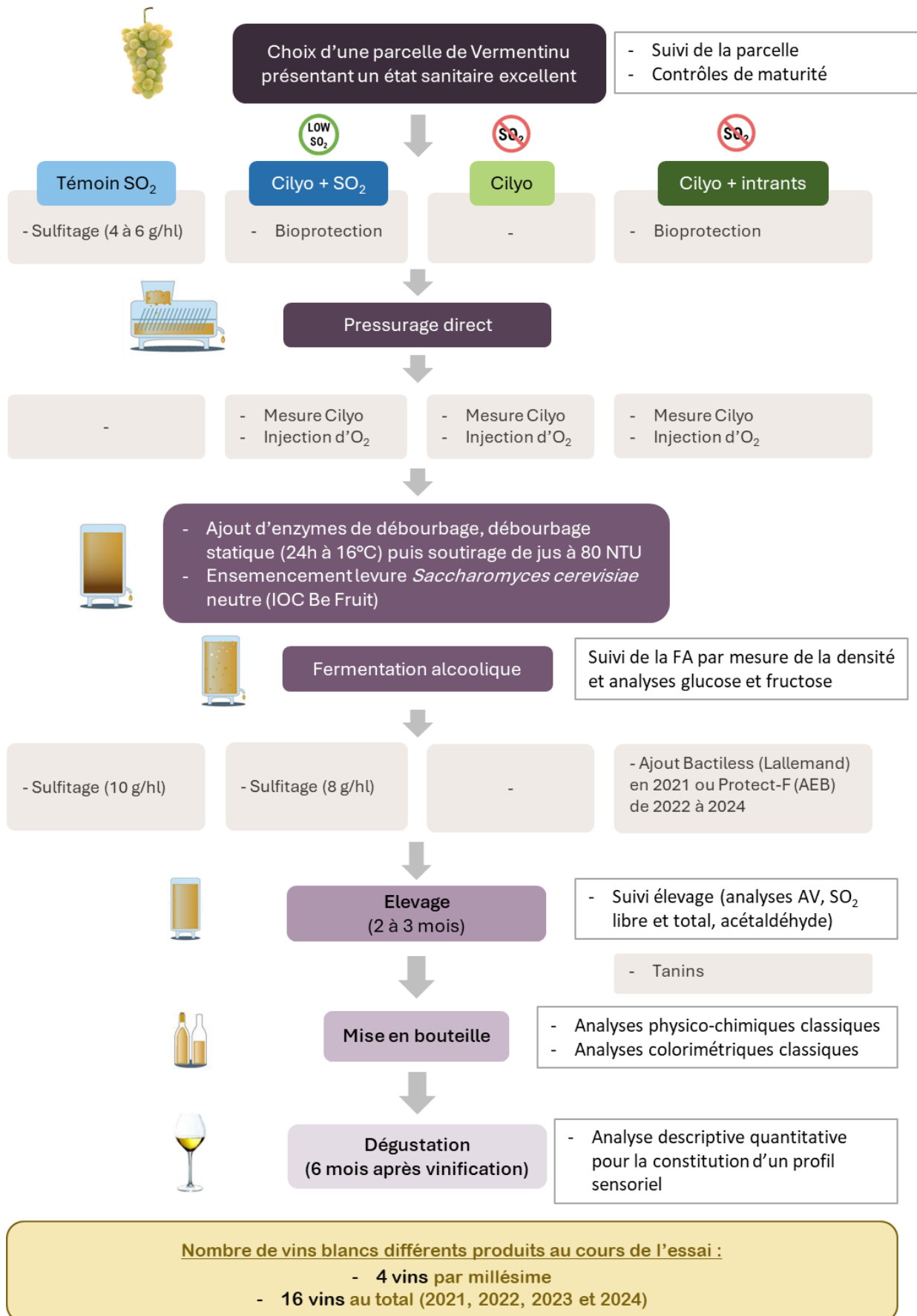
Chaque modalité est pressée séparément, car un sulfitage (4 à 6 g/hl) est appliqué sur la modalité témoin, en fonction de l'état sanitaire des raisins, lors du pressurage de manière à prévenir des contaminations microbiologiques et de l'oxydation. Un produit de bioprotection, Primaflora VB (AEB) est apporté au pressurage sur les modalités « Cilyo + SO₂ » et « Cilyo + intrants », afin de prévenir d'éventuelles contaminations microbiologiques.

Afin de limiter au maximum l'oxydation des moûts lors du pressurage, le pressoir est enrubanné de film plastique, et du dioxyde de carbone gazeux est régulièrement injecté dans l'espace intérieur afin de le saturer en CO₂ (Figure 3) et de la carboglace est ajoutée régulièrement dans chaque cuve.

Figure 3 : Pressurage d'une modalité de l'essai (à gauche) et analyse de l'échantillon de moût par l'outil Cilyo®



Figure 4 : Schéma de vinification de l'essai

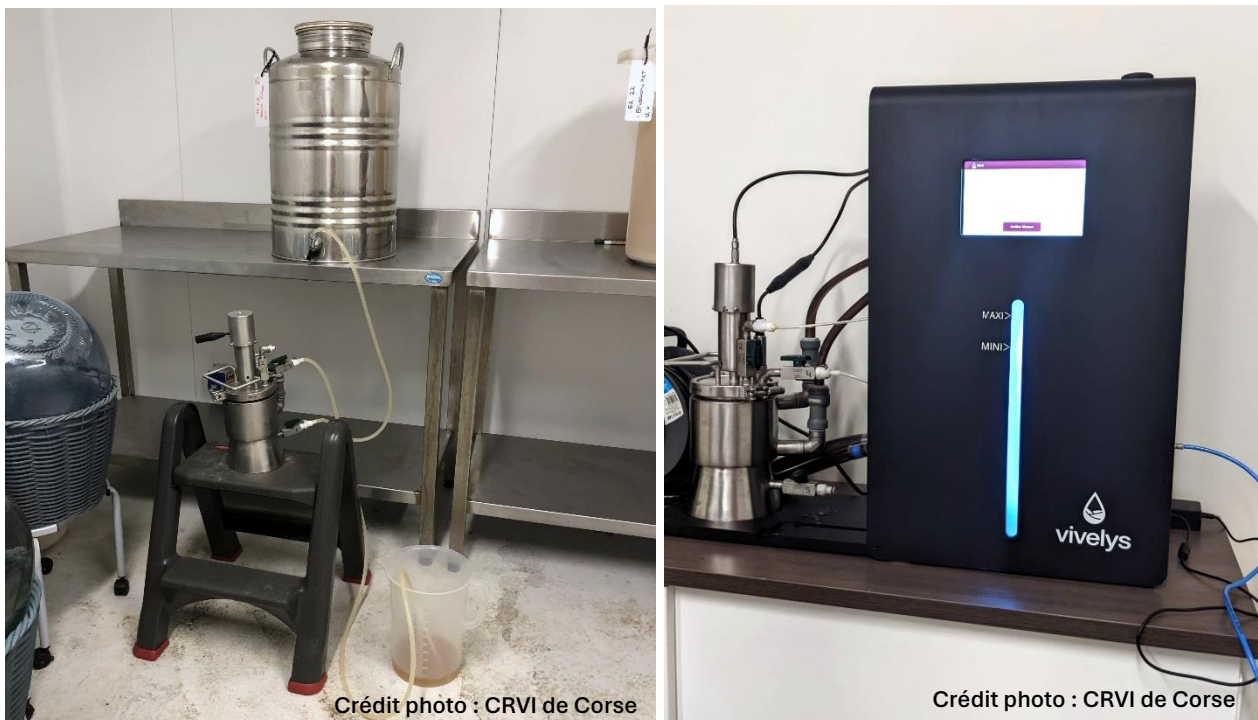


Mesure Cilyo et traitement à l'oxygène

Après pressurage, pour chaque modalité concernée, un échantillon de moût est prélevé pour analyse par l'outil Cilyo (Figure 5). L'appareil injecte de manière régulière de l'oxygène dans l'échantillon et suit la vitesse de consommation de l'O₂ par le moût. Le Cilyo calcule alors la valeur d'oxygène minimale nécessaire à l'oxydation des polyphénols « instables », qui est ensuite injectée au moût. Cet apport est effectué à l'aide de l'outil Visio S[®] (société Vivelys) permettant d'apporter dans chaque cuve une dose d'O₂ précise.

Durant tout ce laps de temps, le moût est maintenu à une température de 16°C.

Figure 5 : Prélèvement d'échantillon de moût (à gauche) et analyse de l'échantillon par le Cilyo (à droite)



Des enzymes œnologiques sont ajoutées à chaque cuve à hauteur de 2 g/hl afin de faciliter le débouillage.

Après un débouillage statique (24h à 16°C), les jus sont soutirés à 80 NTU dans des bonbonnes en verre de 28 L et analysés par le laboratoire COFRAC du CRVI de Corse.

2.3.2. Fermentations et élevage

Les moûts sont ensemencés à hauteur de 20 g/hl avec la levure Be Fruit (IOC), souche neutre ne produisant pas de SO₂.

Une complémentation en azote (azote organique et éventuellement azote minéral) est effectuée en fonction de la carence initiale du moût selon le millésime. Cet apport est fractionné : une première partie est apportée lors du levurage, la seconde partie est incorporée lors du premier tiers de la fermentation alcoolique (perte de 20 points de densité par rapport à la densité initiale du moût). De la bentonite est également ajoutée au moût à hauteur de 30 g/hl. Ces apports sont systématiquement identiques pour les quatre cuves.

La température de la fermentation alcoolique est fixée à 18°C. Un suivi régulier de la fermentation est assuré via la mesure régulière de la masse volumique. Pour chaque cuve, lorsque la densité initiale du moût a diminué de 20 points, un apport d'O₂ (6 mg/L) est effectué pour favoriser la croissance et la robustesse de la population levurienne. Cet apport est effectué à l'aide de l'outil Visio S[®] (société Vivelys) permettant d'apporter dans chaque cuve une dose d'O₂ identique.

Lorsque la densité d'une cuve avoisine 1000, les sucres fermentescibles (glucose et fructose) sont dosés pour suivre la fin de la FA. La FA est considérée comme achevée lorsque la teneur est inférieure ou égale à 1 g/l.

Le vin de chaque modalité est alors soutiré dans un fût inox hermétique de 20 L et sulfité (uniquement pour les deux modalités concernées) à hauteur de 10 g/hl. Dans la modalité « Cilyo + intrants », un intrant alternatif au SO₂ est ajouté pour bloquer la FML : Bactiless (Lallemand), un biopolymère d'origine fongique (*Aspergillus niger*) pour le millésime 2021, remplacé par Protect-F (AEB), produit à base d'acide fumarique et de tanins pour les millésimes 2022 à 2024, en raison du manque d'efficacité et de neutralité organoleptique du produit Bactiless.

Les vins bénéficient d'un élevage de deux à trois mois. En fin d'élevage, les vins sont laissés en chambre froide à 0°C durant deux semaines afin d'anticiper les précipitations tartriques qui pourraient avoir lieu après embouteillage, puis ils sont filtrés (0,5 µm) avant d'être mis en bouteille (Figure 6). Lors de la mise en bouteille, des tanins antioxydants (Oenotan) sont ajoutés à la modalité « Cilyo + intrants » afin de réduire le risque d'oxydation des arômes. La dose de tanins est déterminée à l'aide d'une dégustation préalable, de manière à s'assurer de la neutralité organoleptique du produit.

Cet itinéraire est répété sur quatre millésimes (2021, 2022, 2023 et 2024) afin d'obtenir quatre répliqués pour chaque modalité.

Figure 6 : Mise en bouteille des vins des différentes modalités



2.4. Analyses

2.4.1. Analyses physico-chimiques et colorimétriques classiques

Différentes analyses sont réalisées au cours de la vinification :

- Sur raisins : la maturité des raisins est suivie via des contrôles de maturité, au cours desquels les paramètres TAP, AT, pH (pour le millésime 2021) et AM (à partir du millésime 2022) sont analysés.
- Sur moûts : les paramètres physico-chimiques classiques (TAP, AT, pH, AV, SO₂ libre et total, AM, AL, azote assimilable, masse volumique, turbidité) et colorimétriques (teinte, intensité colorante, composantes jaune, rouge et bleue) sont réalisés lors de l'encuvage.
- Pendant la FA : l'avancée de la FA est suivie par mesure régulière de la masse volumique (deux à cinq fois par semaine).
- En fin de FA : l'analyse de la concentration en glucose/fructose permet de confirmer la fin de la fermentation alcoolique. A ce moment-là, les paramètres physico-chimiques classiques (TAV, AT, pH, AV, SO₂ libre et total, AM, G/F) sont analysés.
- Pendant l'élevage : l'AV, le SO₂ libre et total et l'acétaldéhyde sont contrôlés de manière bimensuelle afin de surveiller la protection des vins.
- A la mise en bouteille : les paramètres physico-chimiques classiques (TAV, AT, pH, AV, SO₂ libre et total, G/F, AM, acétaldéhyde) et colorimétriques (teinte, intensité colorante, composantes jaune, rouge et bleue) sont analysés par le laboratoire COFRAC du CRVI.

2.4.2. Analyses microbiologiques

Des dénombrements microbiologiques sont effectués par le laboratoire EXCELL (Floirac), par culture sur milieu gélosé :

- Bactéries acétiques
- Bactéries lactiques
- Levures
- Levures *Brettanomyces*
- Levures non-*Saccharomyces*
- Moisissures
- Flore totale

Ces analyses sont réalisées sur chacune des quatre modalités sur moût, en fin de FA, à la mise en bouteille et six mois après mise en bouteille. En 2021, ces analyses n'ont pas été effectuées sur la modalité « Cilyo + SO₂ fin FA » au stade « mise en bouteille ».

2.4.3. Analyses d'arômes

Plusieurs molécules de trois familles aromatiques sont dosées par le laboratoire EXCELL (Floirac) :

- Thiols (5 molécules) :
 - 4-méthyl-4-mercaptopentan-2-one (4MMP)
 - 3-mercaptohexan-1-ol (3MH)
 - Acétate de 3-mercaptohexan-1-ol (A3MH)

- Benzenemethanethiol (BMT)
- Terpènes (8 molécules) :
 - A-terpinéol
 - Citronellol
 - Géraniol
 - Linalol
 - Nérol
 - Trans-rose oxide
 - Cis-rose oxide
 - Eucalyptol
- Esters (23 molécules) :
 - Propanoate d'éthyle
 - Isobutyrate d'éthyle
 - Butyrate d'éthyle
 - 2-méthylbutyrate d'éthyle
 - Acétate d'isoamyle (AI)
 - Hexanoate d'éthyle
 - Acétate d'hexyle
 - Octanoate d'éthyle (OE)
 - Décanoate d'éthyle
 - Acétate de phényléthyle (APE)
 - 2-phényléthanol

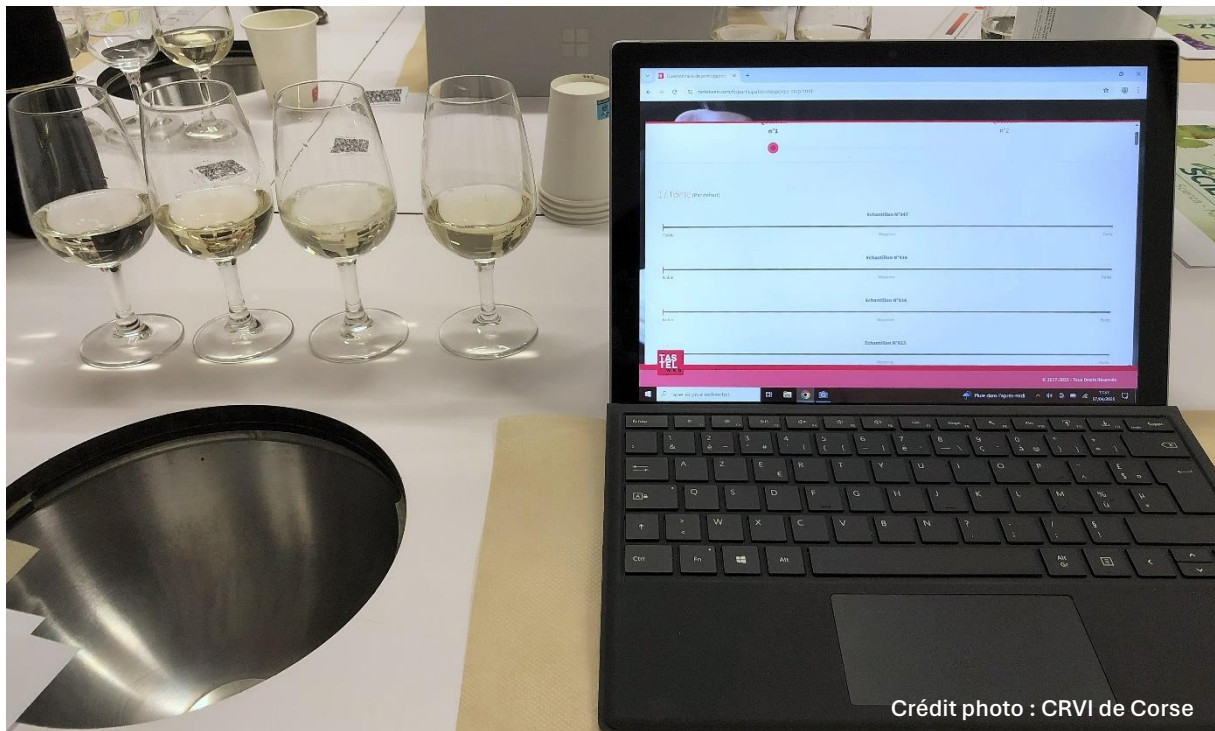
Ces analyses sont réalisées sur chacune des quatre modalités à la mise en bouteille, six mois après mise en bouteille et un an après mise en bouteille. Les molécules volatiles sont dosées par micro-extraction en phase solide suivie d'une analyse GC-MS. En 2021, ces analyses n'ont pas été effectuées sur la modalité « Cilyo + SO₂ fin FA » au stade « mise en bouteille ».

Chaque composé aromatique présente un seuil de perception spécifique, qui dépend fortement de la matrice (solution hydroalcoolique, vin modèle, vin blanc ou vin rouge). Dans ce travail, les seuils retenus pour les composés étudiés concernent le 3-mercaptohexan-1-ol (60 ng/l, Tominaga et al., 1998), l'acétate de 3-mercaptohexan-1-ol (4,2 ng/l, Tominaga et al., 1998), le benzenemethanethiol (0,3 ng/l, Tominaga et al., 2003), l'acétate d'isoamyle (160 µg/l, Peinado et al., 2004), l'octanoate d'éthyle (580 µg/l, Peinado et al., 2004) et l'acétate de phényléthyle (1800 µg/l, Guth et al., 1997). Ces valeurs, utilisées dans les représentations graphiques, ont été déterminées à partir de solutions de vin modèle et sont donc inférieures aux seuils effectifs dans le vin réel, en raison des effets de masquage induits par les autres constituants. Elles sont mentionnées à titre indicatif.

2.4.4. **Analyse sensorielle**

Pour chaque millésime, les vins des différentes modalités sont dégustés en comparaison (Figure 7). Les dégustations ont lieu environ trois mois après leur mise en bouteille. Le jury de dégustation est composé de 7 à 10 sujets experts.

Figure 7 : Dégustation des quatre modalités en comparaison



Crédit photo : CRVI de Corse

Les vins sont servis aléatoirement : chaque dégustateur les évalue dans un ordre différent afin de s'affranchir du biais dû à l'ordre des échantillons. Les vins sont anonymes et bénéficient d'une présentation uniformisée (Figure 8). Le codage des vins est automatiquement réalisé par le logiciel TASTEL, attribuant à chaque bouteille un numéro aléatoire entre 1 et 999.

Figure 8 : Anonymisation des vins du millésime 2021 pour l'analyse sensorielle



Crédit photo : CRVI de Corse

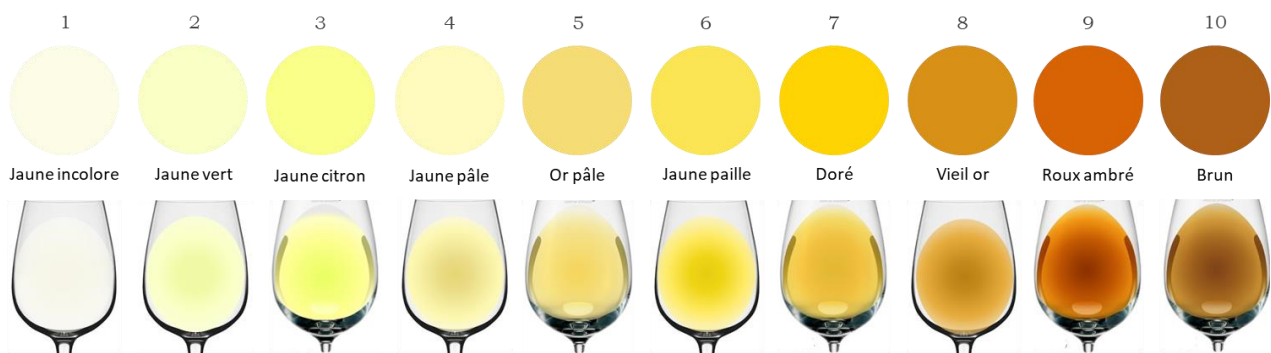


Crédit photo : CRVI de Corse

La méthode utilisée est la méthode d'analyse quantitative descriptive (méthode ADQ) permettant l'estimation de grandeurs sensorielles multiples et, par conséquent, l'élaboration d'un profil sensoriel. Elle permet ainsi une description complète du produit dégusté. Les 21 descripteurs retenus sont adaptés à la dégustation de vins blancs secs.

Les notes attribuées à chaque descripteur sont reportées sur une échelle structurée, dont la graduation est comprise entre 0 et 10, allant d'une absence du descripteur (noté 0) à une très forte intensité du descripteur (noté 10). Seule la teinte ne suit pas cette notation : le chiffre indiqué par le jury de dégustation correspond à une référence sur un nuancier fourni durant la dégustation (Figure 9).

Figure 9 : Nuancier utilisé lors des dégustations pour l'évaluation du paramètre "teinte"



2.5. Traitement statistique

Plusieurs tests statistiques sont mis en place afin de mettre en évidence ou non une éventuelle influence de l'itinéraire de vinification sur les différents paramètres évalués au cours de l'élaboration des vins.

2.5.1. Analyses physico-chimiques classiques

Les paramètres physico-chimiques classiques (TAV, AT, pH, AV, AL, AM, SO₂ L et SO₂ T), évalués à trois stades clés de la vinification (moût, fin FA et mise en bouteille) ont été analysés par ANOVA à mesures répétées afin de tenir compte de la dépendance des observations provenant des mêmes sujets. L'analyse a porté sur trois facteurs : le facteur « modalité » (témoin / Cilyo + SO₂ / Cilyo / Cilyo + intrants), le facteur « itinéraire de vinification » (avec sulfites / sans sulfites) et le facteur « millésime ». Lorsque l'effet d'un facteur était significatif, des comparaisons post-hoc ont été effectuées pour identifier les différences spécifiques avec la correction de Sidak, adaptée aux mesures répétées. Un test post-hoc de Tukey a également été réalisé à titre de comparaison pour confirmer la robustesse des résultats. Toutes les analyses ont été effectuées avec XLSTAT, en considérant un risque α de 5 %.

Sur les données évaluées uniquement en fin de FA ou à la mise en bouteille (mesure unique : durée de FA), une ANOVA (risque α de 5 %) à trois facteurs (modalité, itinéraire technique et millésime) est appliquée. Dans le cas où une différence significative est mise en évidence par

l'analyse de variance, un test post-hoc de Tukey et un test bilatéral de Dunnett permettent de classer les différentes modalités entre elles.

2.5.2. Analyses colorimétriques

Ces analyses sont effectuées à quatre stades : en sortie de pressoir, après injection d'oxygène pour les modalités concernées, sur moût après débouillage et lors de la mise en bouteille. Une ANOVA (risque α de 5 %) à trois facteurs (modalité, itinéraire technique et millésime) est appliquée. Dans le cas où une différence significative est mise en évidence par l'analyse de variance, un test de comparaison multiple par paires (test de Tukey) permet de classer les différentes modalités entre elles.

2.5.3. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques sont effectuées à quatre stades clés de la vinification et de l'élevage (moût, fin FA, mise en bouteille et 6 mois après mise en bouteille). Sur ces données, une ANOVA à mesures répétées est effectuée, l'analyse portant sur trois facteurs pour déterminer s'il existe un effet significatif de la modalité, de l'itinéraire technique (avec sulfites/sans sulfites) ou du millésime sur les populations de micro-organismes. Lorsque l'effet du facteur étudié était significatif, des comparaisons post-hoc ont été effectuées sur les moyennes ajustées avec correction de Sidak. Un test post-hoc de Tukey a également été réalisé à titre de comparaison pour confirmer la robustesse des résultats. Toutes les analyses ont été effectuées avec XLSTAT, en considérant un risque α de 5 %.

2.5.4. Analyses d'arômes

Les composés des différentes familles aromatiques (thiols volatils, esters fermentaires et terpènes), évalués à trois stades clés de l'élevage (à la mise en bouteille, 6 mois après mise en bouteille et un an après mise en bouteille) ont été analysés par ANOVA à mesures répétées. L'analyse a porté sur trois facteurs (modalité / itinéraire de vinification / millésime) pour identifier des différences spécifiques entre les vins. Le test principal employé a été la correction de Sidak, adaptée aux mesures répétées. Un test post-hoc de Tukey a également été réalisé à titre de comparaison pour confirmer la robustesse des résultats. Toutes les analyses ont été effectuées avec XLSTAT, en considérant un risque α de 5 %.

2.5.5. Analyses sensorielles

Suite à la dégustation comparative des vins, pour chaque millésime une ANOVA (risque α de 5 %) est réalisée sur chaque descripteur utilisé afin de mettre en évidence une éventuelle différence significative entre les modalités. Dans le cas où une différence significative est mise en évidence par l'analyse de variance, un test post-hoc de Newman-Keuls permet de classer les différentes modalités entre elles.

Une ANOVA à trois facteurs (modalités, millésime et juge) est également effectuée sur les données des quatre millésimes. Dans le cas où une différence significative est mise en évidence par l'analyse de variance, un test post-hoc de Tukey permet de classer les différentes modalités entre elles.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques des raisins et du moût initial

Des contrôles de maturité fréquent sont permis de déterminer les différentes dates de récolte afin d'obtenir des raisins présentant une maturité technologique adaptée à l'essai. Les raisins sont alors vendangés (Figure 10) puis directement pressés. Les raisins présentent systématiquement un état sanitaire excellent.

Figure 10 : Vendanges des raisins à destination de l'essai



Pour chaque modalité concernée, la dose d'oxygène indiquée par l'outil Cilyo est injectée dans les cuves. Un brunissement du jus est instantanément observé (voire la partie 3.3.2 pour les résultats statistiques des analyses colorimétriques en page 28). Avant débouillage, des précipités bruns sont également observés dans la cuve (Figure 11).

Figure 11 : Cuve de moût au cours de l'injection d'O₂ (à gauche) et 12h après injection d'O₂ (à droite)



Après débouillage, les moûts sont analysés au laboratoire COFRAC du CRVI. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Analyses physico-chimiques des moûts

Millésime	Modalité	TAP % vol	AT g/L H ₂ SO ₄	pH	AV g/LH ₂ SO ₄	SO ₂ L mg/l	SO ₂ T mg/l	AM g/l	IPT
2021	Témoin SO ₂	13,40	3,38	3,41	0,05	7	21	1,4	10
	Cilyo + SO ₂	12,90	3,45	3,42	0,07	6	1	1,5	5
	Cilyo	13,10	3,30	3,43	0,06	5	1	1,4	5
	Cilyo + intrants	13,10	3,30	3,43	0,06	5	1	1,4	5
2022	Témoin SO ₂	13,50	3,34	3,49	0,06	5	13	0,8	7
	Cilyo + SO ₂	13,10	3,47	3,44	0,06	6	6	0,6	5
	Cilyo	13,00	3,30	3,43	0,04	5	4	0,7	5
	Cilyo + intrants	13,40	3,27	3,46	0,06	5	5	0,7	5
2023	Témoin SO ₂	14,20	3,00	3,56	0,02	0	13	1,0	11
	Cilyo + SO ₂	14,40	2,96	3,56	0,02	0	1	1,0	6
	Cilyo	14,40	3,29	3,50	0,02	0	1	0,9	8
	Cilyo + intrants	14,20	3,13	3,53	0,03	0	0	1,0	8
2024	Témoin SO ₂	12,08	3,80	3,33	0,00	2	25	2,2	6
	Cilyo + SO ₂	12,01	3,49	3,39	0,00	0	3	1,7	8
	Cilyo	11,95	3,89	3,32	0,00	0	3	2,5	7
	Cilyo + intrants	11,95	3,99	3,26	0,00	0	3	2,8	4

A ce stade, les moûts sont relativement homogènes, quelques écarts dus au fait que les moûts ne sont pas issus d'un pressurage commun pouvant être notés d'une modalité à l'autre. Ces écarts initiaux sont néanmoins pris en compte dans les traitements statistiques ultérieurs.

3.2. Fermentations alcooliques et malolactiques

Les durées de FA varient selon les millésimes (Tableau 2), en revanche il n'y a pas de différence significative de durée de FA entre les modalités. Il n'y a donc pas d'incidence de l'oxygénation contrôlée sur la cinétique fermentaire (Figure 12).

La FML n'est pas recherchée dans cet essai, mais elle s'est déclenchée de manière spontanée sur les modalités sans sulfites en 2021 au cours de l'élevage, y compris sur la modalité avec intrants. Suite à cela, l'intrants utilisé pour bloquer la FML, qui par ailleurs manquait de neutralité d'un point de vue organoleptique, a été changé pour les millésimes suivants.

La FML ne s'est pas déclenchée sur les millésimes 2022 et 2023, y compris sur la modalité sans sulfites et sans intrants (« Cilyo »). Les faibles teneurs en acide malique initial (< 1 g/l) ont probablement favorisé cela.

En 2024, la FML s'est opérée spontanément sur la modalité « Cilyo » (sans intrants). En revanche, elle ne s'est pas déclenchée dans la modalité « Cilyo + intrants » (sans sulfites), en dépit d'une pression en bactéries lactiques plus importante dans cette modalité que dans les autres : les intrants pour bloquer la FML alternatifs au SO₂ se sont donc révélés efficaces.

Tableau 2 : Durées des fermentations alcooliques et malolactiques des différentes modalités pour les millésimes 2021 à 2024

Millésime	Modalité	Durée de FA <i>jours</i>	FML
2021	Témoin SO ₂	42	-
	Cilyo + SO ₂	20	-
	Cilyo	24	Oui
	Cilyo + intrants	24	Oui
2022	Témoin SO ₂	17	-
	Cilyo + SO ₂	17	-
	Cilyo	17	-
	Cilyo + intrants	17	-
2023	Témoin SO ₂	34	-
	Cilyo + SO ₂	48	-
	Cilyo	48	-
	Cilyo + intrants	48	-
2024	Témoin SO ₂	13	-
	Cilyo + SO ₂	13	-
	Cilyo	15	Oui
	Cilyo + intrants	17	-

Figure 12 : Cinétiques fermentaires des quatre modalités pour les millésimes 2021 à 2024



Ce qu'il faut retenir des fermentations :

Les cinétiques de fermentations alcooliques sont similaires entre les modalités, il n'y a pas d'incidence de l'oxygénation contrôlée sur ce paramètre.

La fermentation malolactique s'est parfois déclenchée de manière spontanée sur les matrices fragiles (sans sulfites), néanmoins les intrants alternatifs au SO₂ utilisés à partir de 2022 pour bloquer la FML se sont avérés efficaces.

3.3. Analyses physico-chimiques classiques des vins

3.3.1. Analyses physico-chimiques classiques

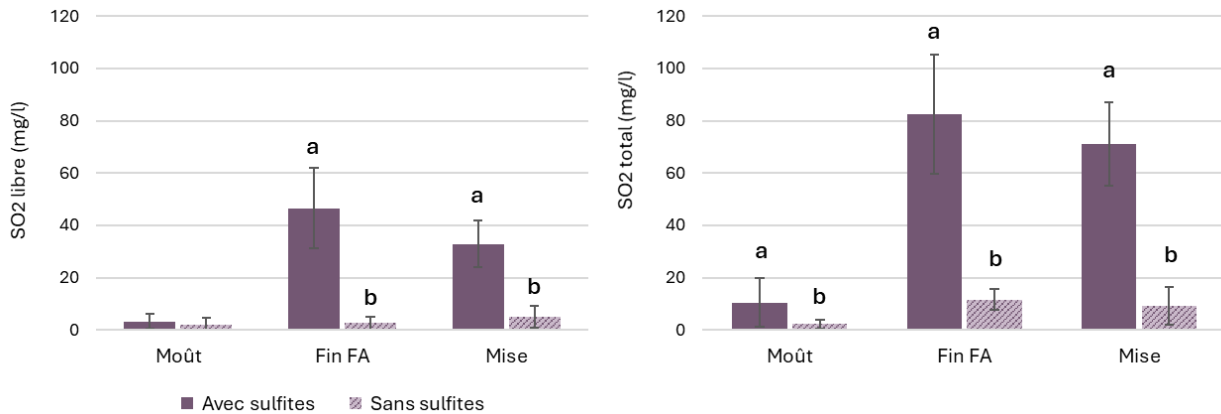
Les paramètres physico-chimiques classiques sont analysés aux trois stades clés de la vinification du vin : moût, fin FA et mise en bouteille. Les analyses des vins à la mise en bouteille sont disponibles dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Analyses physico-chimiques des vins à la mise en bouteille pour les millésimes 2021 à 2024

Millésime	Modalité	TAV % vol	AT g/L H ₂ SO ₄	pH	AV g/LH ₂ SO ₄	SO ₂ L mg/l	SO ₂ T mg/l	ACE mg/l	AM g/l	G/F g/l
2021	Témoin SO ₂	14,1	3,40	3,35	0,19	37	84	31	1,5	1,35
	Cilyo + SO ₂	13,8	3,26	3,4	0,2	21	44	16	1,4	0,4
	Cilyo	14,2	3,01	3,44	0,28	12	19	15	0,5	0,87
	Cilyo + intrants	14,2	3,27	3,43	0,21	6	6	16	1,2	0,65
2022	Témoin SO ₂	13,4	3,76	3,17	0,09	42	75	2	1,1	0,4
	Cilyo + SO ₂	13,5	3,79	3,13	0,13	45	73	0	0,9	0,7
	Cilyo	13,5	3,82	3,12	0,14	10	18	0	0,9	0,6
	Cilyo + intrants	13,7	3,99	3,1	0,17	5	6	0	0,9	0,9
2023	Témoin SO ₂	14,3	3,20	3,4	0,27	28	89	-	0,9	0,9
	Cilyo + SO ₂	14,9	3,27	3,37	0,33	26	71	-	0,8	1,2
	Cilyo	15,0	3,61	3,26	0,32	0	16	-	0,7	2,0
	Cilyo + intrants	14,6	4,15	3,28	0,39	0	1	-	0,9	1,6
2024	Témoin SO ₂	12,4	3,26	3,21	0,09	39	82	32	1,7	0,2
	Cilyo + SO ₂	12,5	3,04	3,24	0,07	25	50	21	1,3	0,22
	Cilyo	12,6	2,92	3,31	0,23	3	4	3	0,0	0,12
	Cilyo + intrants	12,6	3,90	3,12	0,08	4	3	19	2,2	0,31

Comme prévu, il existe des différences significatives de la teneur en SO₂ entre les modalités sulfitées (« Témoin SO₂ » et « Cilyo + SO₂ ») et les modalités sans sulfites ajoutés (« Cilyo » et « Cilyo + intrants »). Les modalités avec sulfites présentent plus de SO₂ libre à partir de la fin FA, période-clé du sulfitage en vinification, et plus de SO₂ total dès le stade moût (Figure 13).

Figure 13 : Teneur moyenne en SO₂ libre (à gauche) et SO₂ total (à droite) des vins à différents stades de la vinification pour les millésimes 2021 à 2024

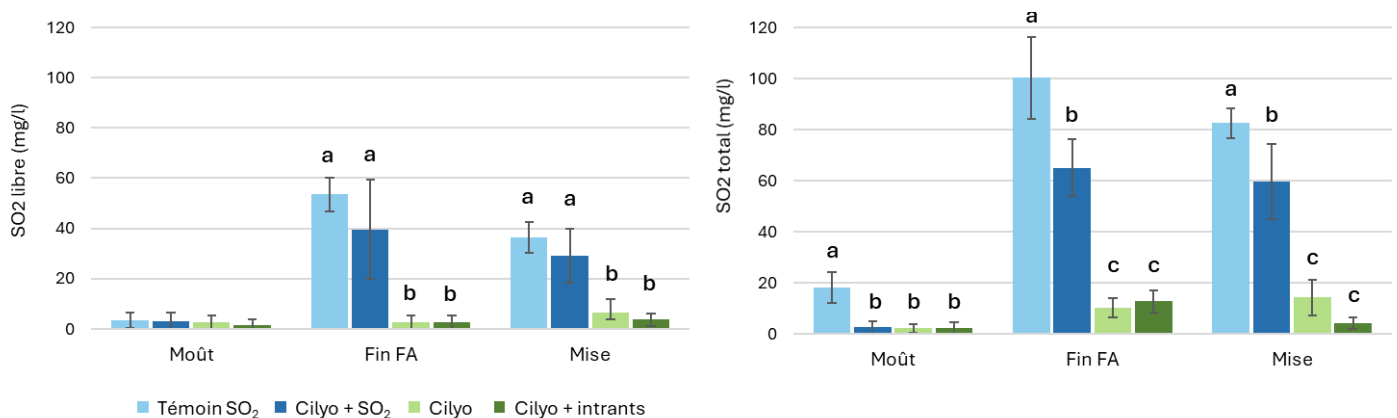


Les lettres affichées dans les graphiques indiquent une différence significative entre les modalités, et précisent leur classement relatif : deux modalités ne partageant aucune lettre en commun sont significativement différentes (risque α de 5 %). Les barres d'erreur correspondent aux écarts-types calculés à partir des valeurs obtenues sur l'ensemble des années étudiées (millésimes 2021 à 2024). Elles traduisent la variabilité interannuelle des données et permettent d'apprécier la dispersion des résultats.

Lorsque les quatre modalités sont distinctes, les résultats sont identiques concernant la teneur en SO₂ libre : les deux modalités sulfitées présentent significativement plus de SO₂ libre que les deux modalités sans sulfites (Figure 14), à partir de la fin FA.

En revanche, concernant la teneur en SO₂ total, au stade moût seul le témoin SO₂ présente des valeurs supérieures aux autres modalités. A partir de la fin FA, la modalité témoin présente plus de SO₂ total que les autres modalités. La modalité « Cilyo + SO₂ » (modalité sulfites réduits) présente significativement moins de SO₂ total que le témoin, mais les valeurs restent supérieures à celles des deux modalités sans sulfites. Il en va de même à la mise en bouteille.

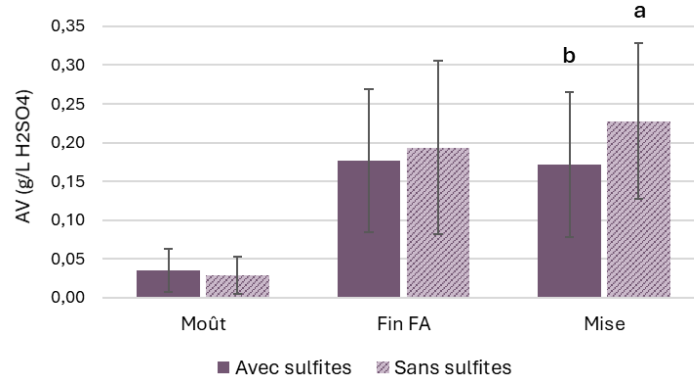
Figure 14 : Teneur moyenne en SO₂ libre (à gauche) et SO₂ total (à droite) des vins à différents stades de la vinification pour les millésimes 2021 à 2024



Le calcul de la proportion du SO₂ libre par rapport au SO₂ total permet d'appréhender l'efficacité du SO₂ ajouté et donc « l'état de protection » du vin. A la mise en bouteille, ce ratio est significativement plus élevé dans les vins « Cilyo + SO₂ » que dans les vins témoins.

Enfin, à la mise en bouteille, l'AV est supérieure dans les modalités sans sulfites (Figure 15). Les valeurs restent néanmoins faibles (0,23 g/l H₂SO₄ en moyenne).

Figure 15 : Acidité volatile moyenne des vins à différents stade de la vinification pour les millésimes 2021 à 2024



3.3.2. Analyses colorimétriques

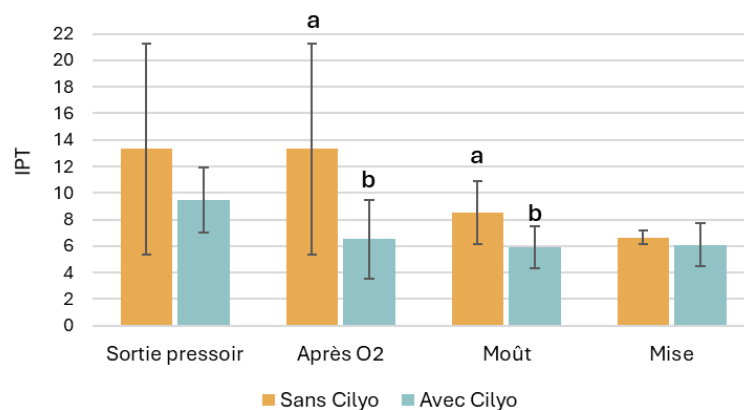
Après son pressurage, le moût est mis en cuve inox à 16°C. L'injection d'oxygène est effectuée pour les trois modalités concernées (« Cilyo + SO₂ », « Cilyo » et « Cilyo + intrants »), selon les doses calculées par l'outil Cilyo, entraînant un brunissement du jus et une précipitation des acides phénols instables. Les cuves sont alors laissées 24h à 16°C avant leur débouillage.

Des analyses colorimétriques sont effectuées à différents stades clés, afin de traduire une éventuelle différence de teinte entre les modalités :

- Sur moût, en sortie de pressoir (stade « Sortie pressoir »)
- Sur moût, après injection d'oxygène pour les trois modalités concernées (stade « Après O₂ »)
- Sur moût, après débouillage (stade « moût »)
- Sur vin, à la mise en bouteille après filtration (stade « Mise »)

L'analyse statistique montre qu'après injection d'oxygène, les modalités concernées présentent moins de polyphénols que la modalité témoin sur moût (Figure 16). Cette différence traduit bien la précipitation des composés phénoliques instables suite à l'injection d'oxygène. Après filtration, à la mise en bouteille, cette différence s'efface entre les vins.

Figure 16 : IPT moyen dans les modalités traitées avec l'outil Cilyo et sans l'outil Cilyo pour les millésimes 2021 à 2024



L'injection d'oxygène dans les moûts s'accompagne également d'un brunissement du jus, qui se traduit d'un point de vue analytique sur la teinte par une diminution de la composante bleue (DO620). Cette modification des proportions colorimétriques, initiée dès l'injection d'oxygène, est significative sur moût (Figure 17 et Figure 18). Cette différence est probablement intensifiée par l'action

Figure 17 : Ratio composante bleue/composante jaune moyen des modalités traitées avec l'outil Cilyo et sans l'outil Cilyo pour les millésimes 2021 à 2024

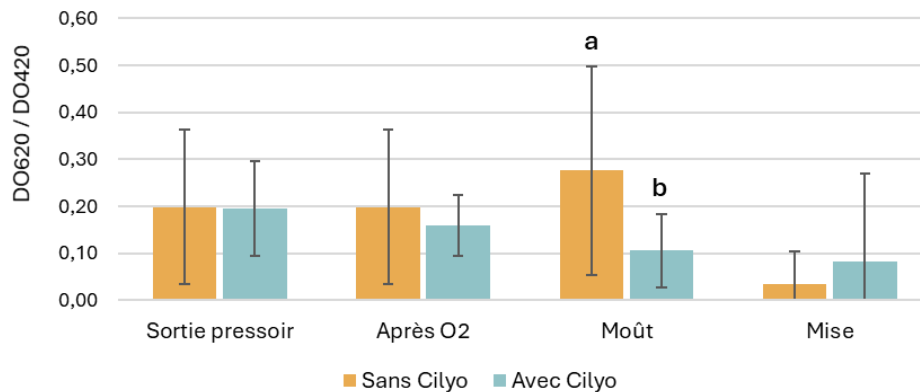
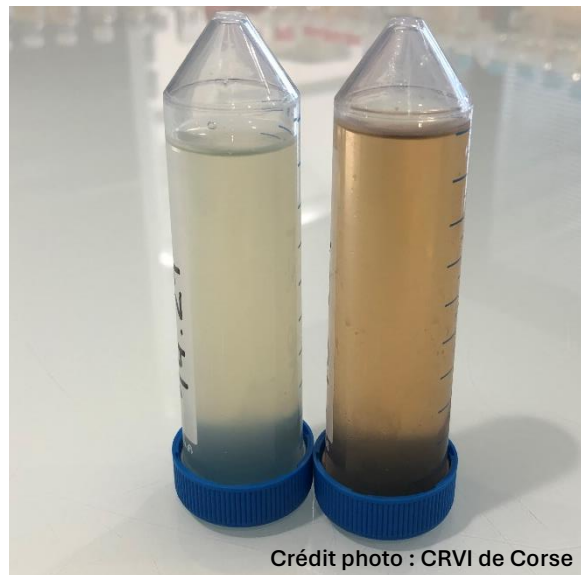


Figure 18 : Echantillons de moût lors du débourage.

Photo de gauche : avant centrifugation, échantillons de la modalité « témoin SO₂ » (à gauche) et « Cilyo » (à droite)
 Photo de droite : après centrifugation, échantillons de la modalité « témoin SO₂ » (à gauche) et « Cilyo » (à droite)



Les différences de couleur observables sur moût s'atténuent au cours de la fermentation (Figure 19), et ne sont plus statistiquement significatives à la mise en bouteille (Figure 17).

Figure 19 : Cuves des moûts avant fermentation alcoolique (en haut) et en fin de fermentation alcoolique (en bas) du millésime 2021. Pour chaque photo, de gauche à droite : modalité « Témoin SO₂ », modalité « Cilyo » et modalité « Cilyo + intrants »



Crédit photo : CRVI de Corse



Crédit photo : CRVI de Corse

En fin de fermentation alcoolique, le vin de la modalité « Cilyo + SO₂ » (itinéraire de vinification sulfites réduits) est sulfité. A ce stade, avec le « Témoin SO₂ », ces deux vins composent alors les modalités « Avec sulfites », en opposition avec les vins « Cilyo » et « Cilyo + intrants » qui poursuivent un itinéraire de vinification sans SO₂.

A la mise en bouteille, les modalités sulfitées présentent une DO420 (composante jaune) significativement inférieure par rapport aux modalités non sulfitées (Figure 20 et Figure 21). Par ailleurs, l'intensité colorante, somme des DO420 (composante jaune), DO520 (composante rouge) et DO620 (composante bleue) est légèrement inférieure à la mise en bouteille dans les modalités sulfitées (Figure 21). Bien que cette différence ne soit pas statistiquement significative d'un point de vue analytique, elle semble être perçue par le jury de dégustation lors des analyses sensorielles (voir Figure 29 de la partie 3.6.1 en page 41).

Cette différence entre les vins peut s'expliquer par l'action du dioxyde de soufre sur la robe, d'une part par son action chimique directe avec les polyphénols, formant des composés incolores, et d'autre part par une action indirecte par limitation du brunissement oxydatif au cours du temps. Plusieurs travaux menés sur l'impact de l'oxygène et du SO₂ à différents stades de la vinification et de la conservation montrent que des niveaux suffisants de dioxyde de soufre permettent de limiter l'oxydation de couleur des vins blancs, préservant des teintes plus pâles, tirant vers le jaune-vert plutôt que vers le jaune ambré, en comparaison de vins élaborés ou élevés avec peu ou pas de SO₂ (Jurd, L., 1964 ; Wrolstad et al., 2005 ; Makhotkina et Kilmartin, 2013 ; Tarko et al., 2020 ; Filipe-Ribeiro et al., 2021 ; Gabrielli et al., 2021).

Figure 20 : Composante jaune moyenne (DO420) des modalités avec sulfites et sans sulfites pour les millésimes 2021 à 2024

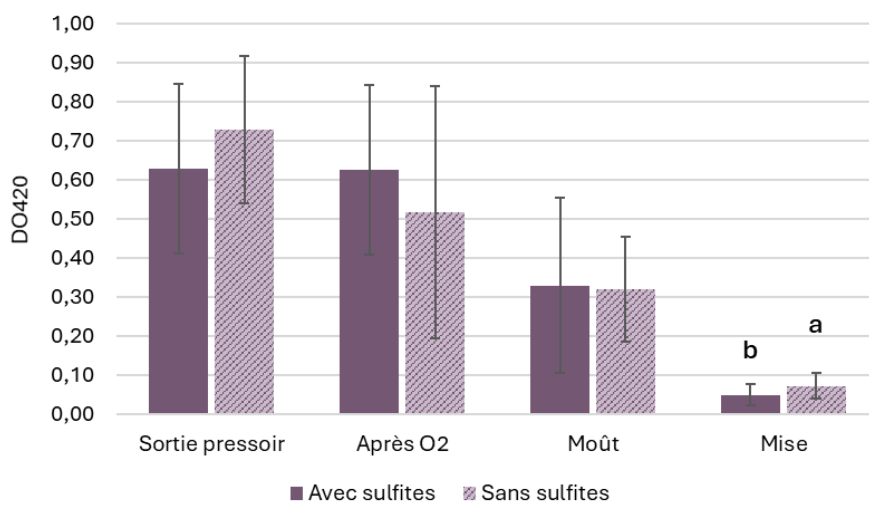
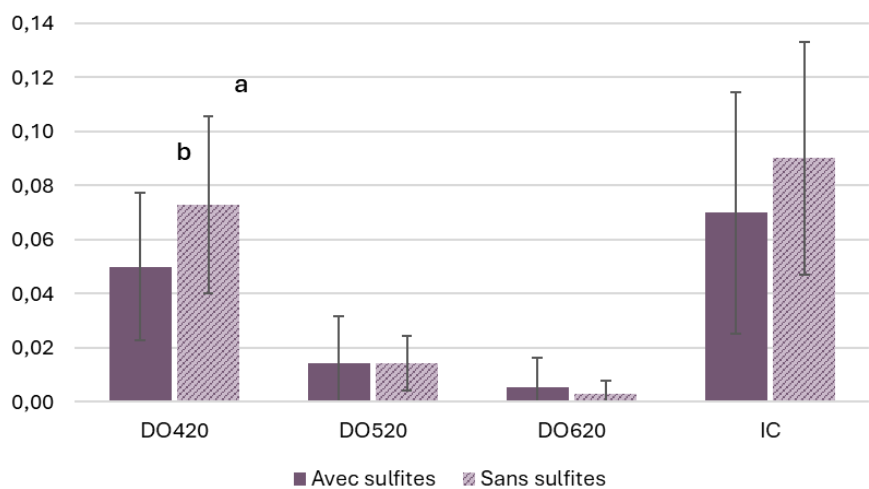


Figure 21 : Caractéristiques à la mise en bouteille des modalités avec sulfites et sans sulfites pour les millésimes 2021 à 2024



Ce qu'il faut retenir des analyses physico-chimiques :

- **Analyses physico-chimiques classiques**

La modalité avec sulfites réduits (« Cilyo + SO₂ ») présente des valeurs de SO₂ libre identiques à celles du témoin, mais des valeurs de SO₂ total significativement inférieures : l'outil Cilyo permet donc de réduire efficacement les doses de SO₂ sans pénaliser la protection du vin au cours de la vinification.

- **Analyses colorimétriques**

L'injection d'oxygène dans les modalités concernées entraîne un brunissement des moûts, qui se traduit d'un point de vue analytique par une diminution de la composante bleue. Cette différence de couleur s'atténue au cours de la FA et n'est plus significative à la mise en bouteille.

3.4. Analyses microbiologiques des vins

Les résultats des analyses microbiologiques sont disponibles en annexe de ce document.

Les dénombrements microbiologiques ne sont pas significativement différents entre les modalités : les différents itinéraires techniques sont donc globalement aussi efficaces pour limiter les altérations microbiologiques.

Bien que les valeurs mesurées soient globalement comparables entre les modalités, la protection vis-à-vis des micro-organismes varie selon l'itinéraire de vinification. La modalité « Cilyo », élaborée sans aucun intrant, s'est révélée beaucoup plus sensible à l'enclenchement spontanée de la fermentation malolactique, observée sur trois des quatre millésimes étudiés.

En revanche, plusieurs millésimes se distinguent :

- le millésime 2024 était significativement plus riche en micro-organismes (bactéries lactiques et levures Non-Saccharomyces sur moût et en fin FA, bactéries acétiques et moisissures en fin FA) que les autres millésimes. Ce millésime s'apparente donc comme l'un des plus « compliqué » à conduire en itinéraire sans sulfites dans cet essai. Cela explique qu'en 2024 la modalité Cilyo ait réalisé complètement sa fermentation malolactique.
- Sur moût, le millésime 2022 était plus riche en bactéries acétiques que le millésime 2021, et significativement plus riche en levures *Brettanomyces bruxellensis* que les autres millésimes. En dépit de ces caractéristiques, aucune déviation microbiologique n'a été constatée sur les vins de ce millésime.

Ce qu'il faut retenir des analyses microbiologiques :

Lors de millésimes riches en micro-organismes, les vins sans sulfites, plus fragiles, sont plus susceptibles de subir des contaminations microbiologiques. Le Cilyo ne propose en aucun cas une couverture contre ces éventuelles altérations. En revanche, les intrants alternatifs au SO₂ utilisés dans la modalité « Cilyo + intrants » à partir de 2022 ont démontré leur efficacité : la FML ne s'est jamais enclenchée dans ces vins, y compris lors du millésime 2024 riche en bactéries lactiques, contrairement au vin de la modalité « Cilyo seul ».

3.5. Analyses d'arômes

3.5.1. Thiols volatils

La teneur en thiols dans les vins est significativement différente d'un millésime à l'autre.

Parmi les cinq thiols dosés, trois molécules sont présentes à des teneurs significativement différentes entre les modalités (Tableau 4).

Tableau 4 : Thiols dosés dans les vins de l'essai pour lesquels il existe une différence significative entre les modalités

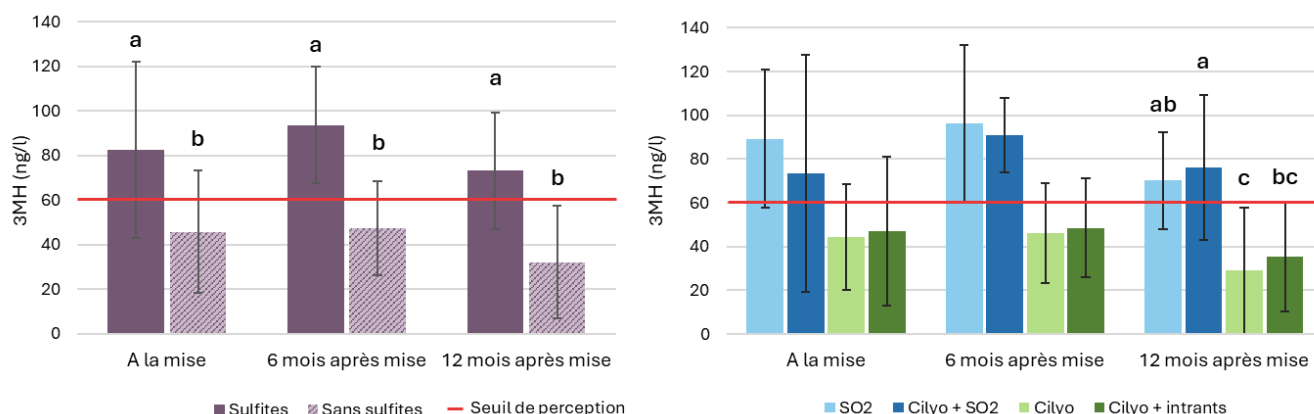
Composé	Abréviation	Descripteurs olfactifs	Seuil de perception
3-mercaptohexan-1-ol	3MH	Pamplemousse	60 ng/l
Acétate de 3-mercaptohexan-1-ol	A3MH	Fruit de la passion	4,2 ng/l
Benzèneméthanethiol	BMT	Pierre à fusil, fumé	0,3 ng/l

La Figure 22, la Figure 23 et la Figure 24 regroupent les valeurs moyennes de ces molécules dans les vins pour les millésimes 2021 à 2024.

La molécule de 3MH, responsable d'arômes de pamplemousse, est plus présente dans les modalités sulfitées que dans les modalités sans sulfites quel que soit le stade d'analyse. Dans les vins sans sulfites, cette molécule est d'ailleurs régulièrement présente à des teneurs inférieures à son seuil de perception (Figure 22).

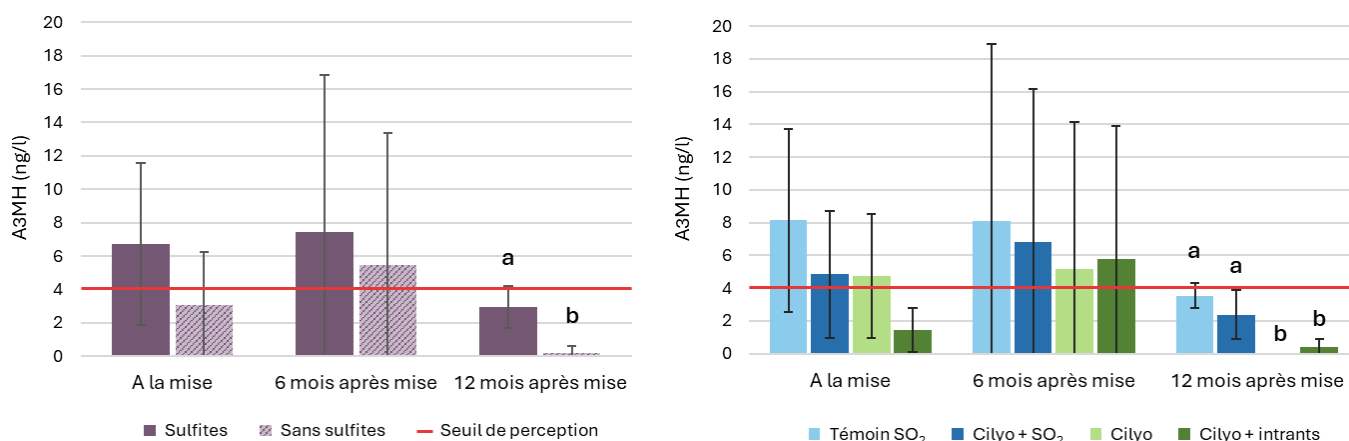
Un an après mise, le vin de la modalité « Cilyo + SO₂ » présente une teneur en 3MH supérieure aux modalités « Cilyo » et « Cilyo + intrants ». La modalité « Cilyo » est la plus pauvre en 3MH, les teneurs étant significativement inférieure aux deux modalités avec sulfites (« SO₂ » et « Cilyo + SO₂ »).

Figure 22 : Teneurs moyennes en 3MH des vins pour les millésimes 2021 à 2024



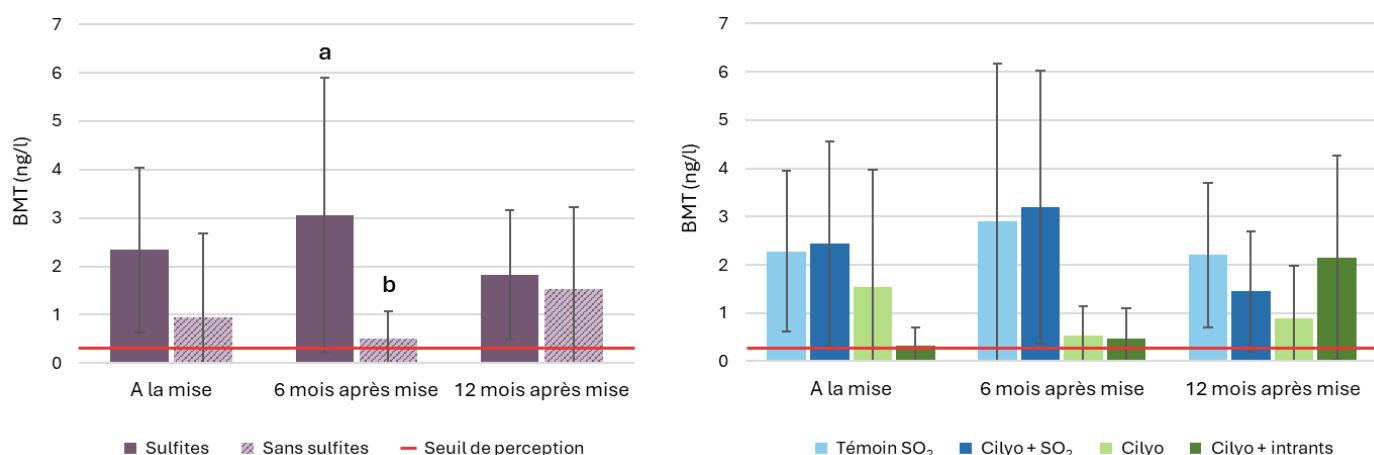
Un an après la mise en bouteille des vins, la molécule d'A3MH, corrélée aux notes de fruit de la passion dans les vins, est plus présente dans les modalités sulfitées (Figure 23).

Figure 23 : Teneur moyenne en A3MH des vins pour les millésimes 2021 à 2024



Le benzène méthane thiol, thiol non variétal responsable de notes fumées et contribuant au caractère empyreumatique des vins (Tominaga et al., 2003) est également plus présent dans les modalités sulfitées, cette différence étant significative six mois après mise en bouteille des vins (Figure 24), puis tend à s'atténuer pour ne plus être significative 12 mois après mise en bouteille.

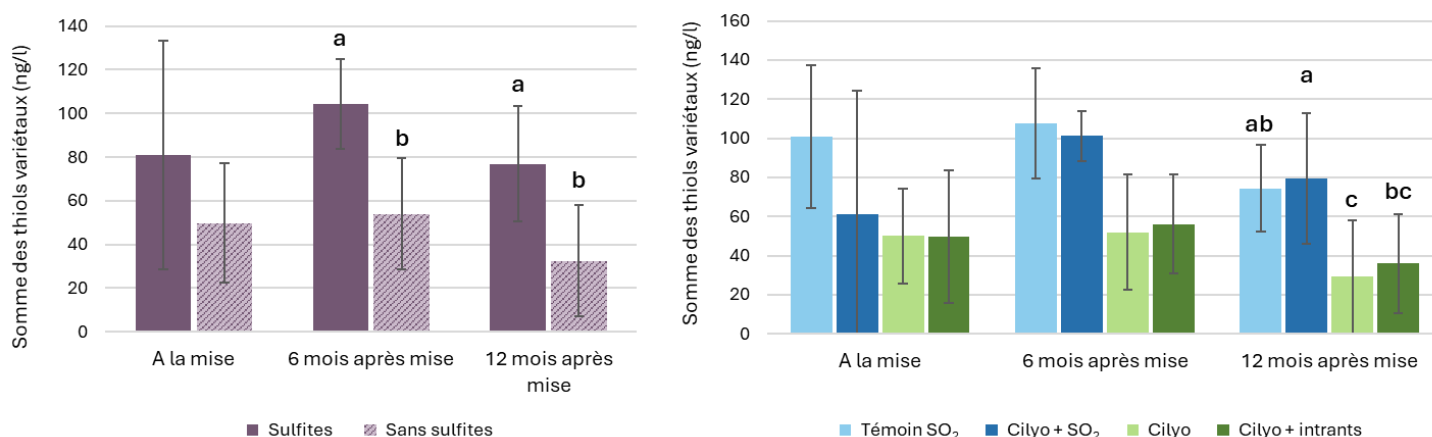
Figure 24 : Teneur moyenne en BMT des vins pour les millésimes 2021 à 2024



La perception aromatique des thiols résulte d'un effet additif, où plusieurs composés présents simultanément dans le vin contribuent de manière cumulative à l'intensité globale perçue (Li et al., 2025 ; Vannevel et al., 2021). Les thiols fruités majeurs (3MH, A3MH, 4MMP) illustrent particulièrement ce phénomène, produisant ensemble des notes d'agrumes et de fruits tropicaux plus intenses et complexes que celles attendues de chacun d'eux individuellement.

Or dès six mois après mise en bouteille, la somme des thiols fruités dosés (3MH, A3MH, 4MMP, 4MMP_{OH}) est inférieure dans les vins sans sulfites (modalités « Cilyo » et « Cilyo + intrants »). Un an après mise en bouteille, les vins de la modalité « Cilyo + SO₂ » (itinéraire de vinification « sulfites réduits ») présentent les plus hautes teneurs en thiols, significativement plus élevées que dans les deux modalités sans sulfites, « Cilyo » et « Cilyo + intrants » (Figure 25). Les vins témoins présentent également plus de thiols que les vins de la modalité « Cilyo ».

Figure 25 : Teneur moyenne en thiols (3MH, A3MH, 4MMP, 4MMP_{OH}) des vins pour les millésimes 2021 à 2024



Ce qu'il faut retenir des analyses de thiols volatils :

Les thiols sont des molécules très sensibles aux réactions d'oxydation.

L'oxygénation des moûts guidée par le Cilyo n'impacte pas la teneur en thiols variétaux des vins, puisqu'il n'existe aucune différence significative entre la modalité témoin (« SO₂ ») et la modalité sulfites réduits (« Cilyo + SO₂ ») : l'outil Cilyo a permis de réduire la dose de sulfites sans impacter la teneur en thiols des vins.

En revanche l'emploi ou non du SO₂ post-fermentaire est déterminante sur la teneur en thiols des vins : les itinéraires sans sulfites ne permettent pas de les conserver de manière significative par rapport aux vins sulfités, bien que les intrants alternatifs au SO₂ utilisés dans la modalité « Cilyo + intrants » permettent d'atténuer légèrement leur oxydation.

3.5.2. Esters fermentaires

La teneur en esters dans les vins est significativement différente d'un millésime à l'autre pour l'ensemble des molécules dosées, à l'exception du butyrate d'éthyle.

Parmi les 23 molécules dosées, trois sont présentes à des teneurs significativement différentes entre les modalités (Tableau 5).

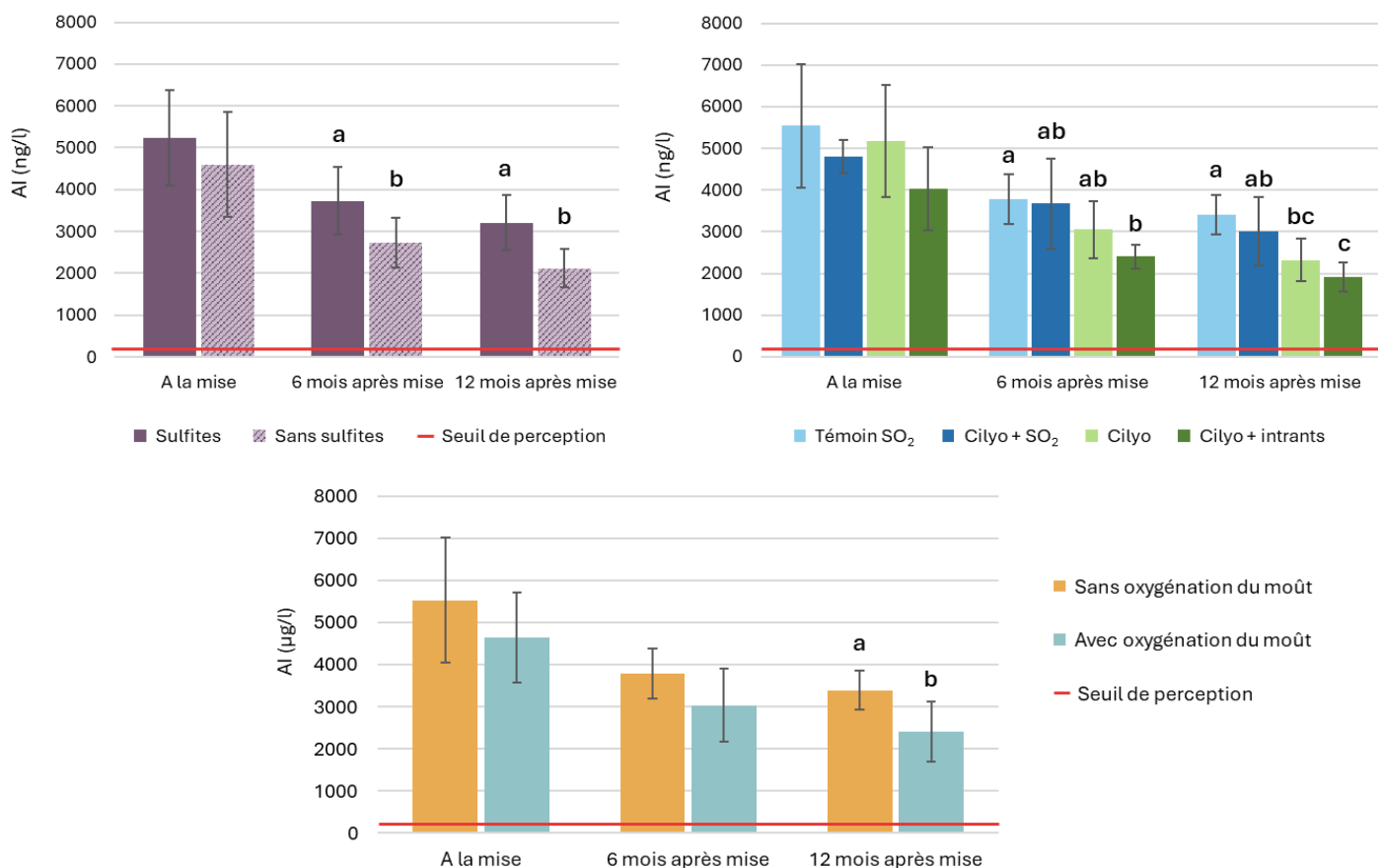
Tableau 5 : Esters dosés dans les vins de l'essai pour lesquels il existe une différence significative entre les modalités

Composé	Abréviation	Descripteurs olfactifs	Seuil de perception
Acétate d'isoamyle	AI	Banane, bonbon anglais	160 µg/l
Acétate de phényléthyle	APE	Rose	250 µg/l
Octanoate d'éthyle	OE	Fruité, floral	580 µg/l

Dès six mois après mise en bouteille, l'acétate d'isoamyle, ester fermentaire responsable de notes de banane, est plus présent dans les vins sulfités (Figure 26). Par rapport au vin témoin, il est significativement inférieur dans la modalité « Cilyo + intrants ». Les valeurs d'AI diminuent au cours du vieillissement jusqu'à être, un an après mise en bouteille, inférieures dans le vin « Cilyo + intrants » par rapport aux deux modalités sulfitées (« Témoin SO₂ » et « Cilyo + SO₂ »).

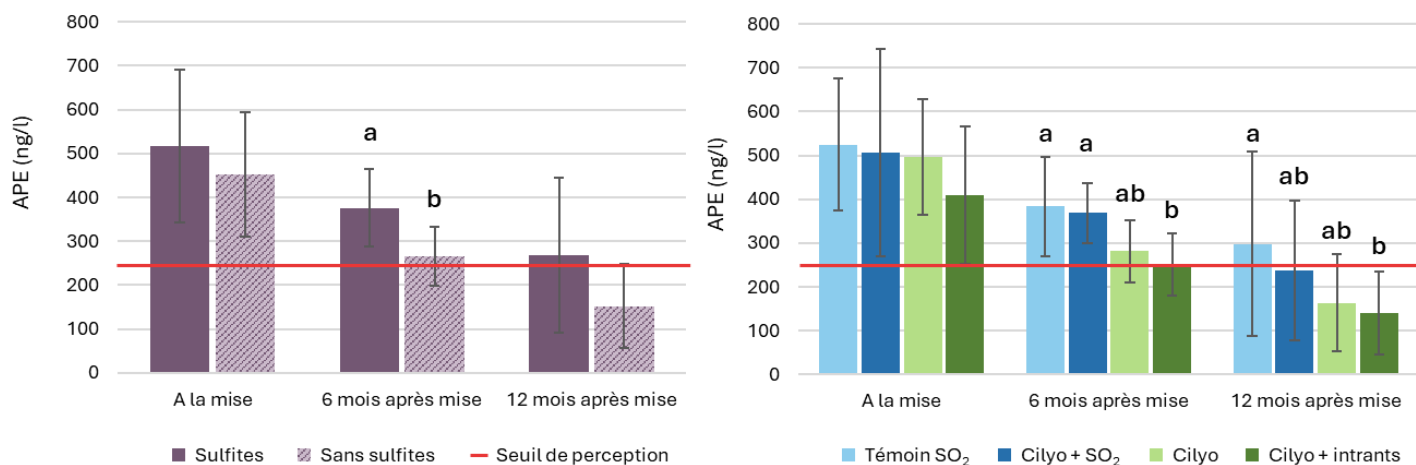
12 mois après mise en bouteille, on observe significativement moins d'AI dans les modalités ayant subi un traitement d'oxygénation des moûts. Une diminution de l'acétate d'isoamyle dans les moûts oxygénés a déjà été notifiée dans de précédentes études (Cejudo-Bastante et al., 2011 ; Lukić et al., 2019 ; Rihak et al., 2022). Néanmoins, dans le cas particulier de la modalité « Cilyo + SO₂ », les vins présentent des teneurs en AI légèrement plus faibles que dans le vin témoin, sans jamais que cette différence soit statistiquement significative. Ainsi, une oxygénation des moûts seule n'est pas responsable d'une diminution de l'acétate d'isoamyle, mais, conjointement à un itinéraire de vinification sans sulfites, elle pourrait y contribuer.

Figure 26 : Teneur moyenne en AI des vins pour les millésimes 2021 à 2024



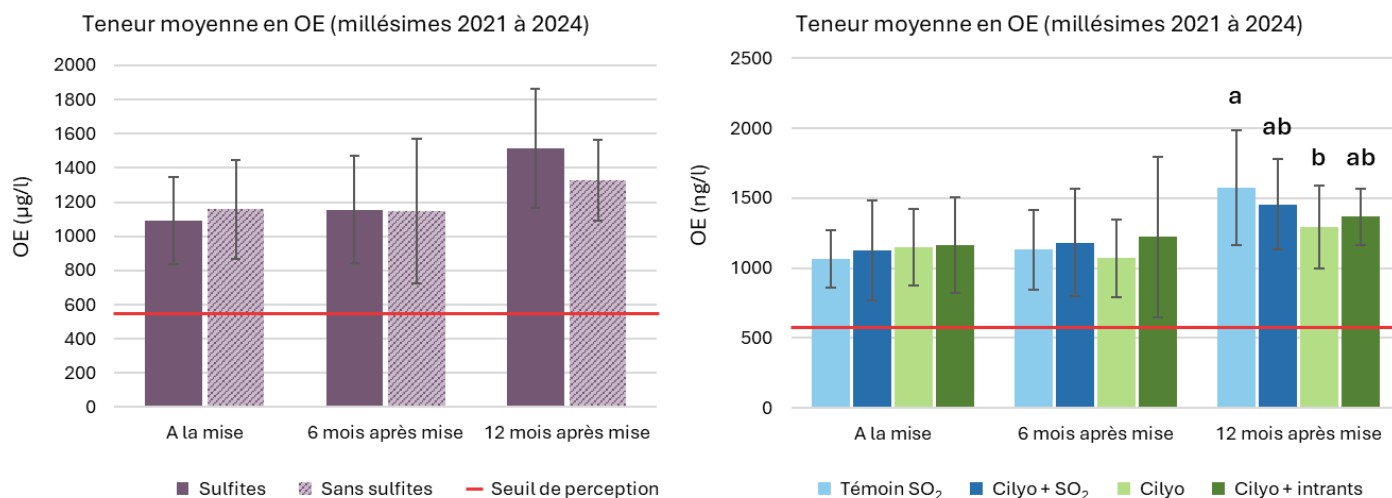
L'acétate de phényléthyle est globalement plus présent dans les modalités sulfitées, cette différence étant significative six mois après mise en bouteille (Figure 27). Six mois après mise en bouteille, ce composé odorant évoquant des notes florales et de rose est moins présent dans les vins « Cilyo + intrants » que dans les vins sulfités. Un an après mise, il est toujours moins présent dans les vins « Cilyo + intrants » que dans les vins témoins.

Figure 27 : Teneur moyenne en APE des vins pour les millésimes 2021 à 2024



Enfin, un an après mise en bouteille, les vins témoins présentent significativement plus d'octanoate d'éthyle, responsable de notes fruitées (ananas, poire) que les vins de la modalité « Cilyo » (Figure 28).

Figure 28 : Teneur moyenne en OE des vins pour les millésimes 2021 à 2024



Par ailleurs, les effets additifs et synergiques de certains esters étant admis (Pineau et al., 2009 ; Lytra et al., 2013 ; Niu et al., 2019), la somme des esters totaux a été comparée entre les différentes modalités, entre les modalités sulfitées et non sulfitées, entre les modalités avec oxygénation des moûts et sans oxygénation des moûts. Néanmoins, aucune différence significative n'a été mise en évidence.

Ce qu'il faut retenir des analyses d'esters fermentaires :

L'oxygénation des moûts guidée par le Cilyo n'impacte pas la teneur en esters des vins, puisqu'il n'existe aucune différence significative entre la modalité témoin (« SO₂ ») et la modalité sulfites réduits (« Cilyo + SO₂ ») : l'outil Cilyo a permis de réduire la dose de sulfites sans impacter la teneur en esters des vins.

En revanche, l'acétate d'isoamyle (banane) et l'acétate de phényléthyle (floral) sont globalement moins présents dans les vins sans sulfites, en particulier dans la modalité « Cilyo + intrants ». Ces écarts, peu marqués à la mise en bouteille, s'accroissent au cours de l'élevage. Les itinéraires de vinification sans sulfites ne permettent pas de conserver les esters de manière significative au cours du temps par rapport au témoin.

3.5.3. Terpènes

La plupart des molécules dosées appartenant à la famille des terpènes ne sont pas détectables dans les vins de cet essai. Lorsque c'est le cas, elles sont présentes dans les vins à des teneurs inférieures à leur seuil de perception.

L'analyse statistique ne montre aucune différence significative, ni entre les modalités, ni selon l'itinéraire de vinification (avec sulfites/sans sulfites).

Ce qu'il faut retenir des analyses de terpènes :

Les terpènes sont très peu présents dans les vins de cet essai.

Il n'y a pas de différences significatives entre les modalités parmi les composés dosés.

3.6. Dégustations comparatives sur vins finis

3.6.1. Dégustation à la mise en bouteille

Pour chaque millésime, les vins des quatre modalités sont dégustés en comparaison. Les résultats sont disponibles dans le Tableau 6. Les différences significatives portent généralement, pour chaque millésime, sur les paramètres de teinte, intensité colorante, finesse/élégance, fleurs blanches, fruits blancs, agrumes, et la note globale.

Suite à l'analyse statistique de l'ensemble des données des quatre millésimes, des différences statistiques sont mises en évidence quant aux différents itinéraires de vinification choisis.

Tableau 6 : Synthèse des résultats de l'analyse sensorielle pour chaque millésime (2021 à 2024)

Deux modalités ne partageant aucune lettre en commun sont significativement différentes sur le paramètre évalué (risque α de 5 %)

Paramètre	Millésime 2021				Millésime 2022				Millésime 2023				Millésime 2024			
	SO2	Cityo + SO2	Cityo	Cityo + intrants	SO2	Cityo + SO2	Cityo	Cityo + intrants	SO2	Cityo + SO2	Cityo	Cityo + intrants	SO2	Cityo + SO2	Cityo	Cityo + intrants
Teinte	1,7 ^b	1,6 ^b	3,6 ^a	3,9 ^a	2,3	2,3	3,1	2,9	3,1 ^c	2,3 ^d	4,4 ^b	5,9 ^a	1,4 ^b	2,6 ^a	3,0 ^a	3,2 ^a
Intensité colorante	2,3 ^b	2,3 ^b	3,7 ^a	4,1 ^a	2,8	2,8	4,3	3,6	3,6 ^{bc}	3,5 ^c	4,0 ^{bc}	5,3 ^a	2,0 ^b	2,7 ^{ab}	3,4 ^a	3,4 ^a
Intensité aromatique	5,7	5,2	6,3	5,7	6,5	5,4	6,1	6,1	5,1 ^b	5,3 ^b	6,3 ^a	6,8 ^a	6,0	6,6	6,8	6,4
Qualité aromatique	6,1	5,9	5,3	4,4	6,5	6,5	5,5	6,3	6,0 ^a	5,1 ^{ab}	4,3 ^{bc}	3,5 ^c	6,9 ^a	6,7 ^a	4,6 ^b	4,0 ^b
Finesse / Élégance	6,1	6,0	5,1	4,1	6,5 ^a	6,4 ^a	5,0 ^b	5,3 ^{ab}	5,6 ^a	5,1 ^a	3,8 ^b	3,4 ^b	6,8 ^a	6,8 ^a	4,5 ^b	4,0 ^b
Floral	5,0	4,7	4,3	4,3	4,9	4,8	5,3	4,6	4,3	4,0	3,8	4,1	4,9 ^{ab}	5,1 ^a	3,8 ^b	4,7 ^{ab}
Fleurs jaunes / miel	3,4	3,4	3,3	3,9	3,1 ^b	3,3 ^b	5,0 ^a	4,3 ^a	3,0 ^b	3,3 ^b	5,3 ^a	6,0 ^a	3,1	3,8	4,4	5,1
Fleurs blanches	4,6 ^a	4,3 ^a	3,1 ^{ab}	2,6 ^b	4,3	4,3	3,0	3,4	3,9 ^a	3,6 ^a	1,6 ^b	1,4 ^b	4,5 ^a	4,3 ^a	2,3 ^b	2,8 ^b
Fruité	5,4 ^a	4,7 ^{ab}	5,0 ^{ab}	3,7 ^b	5,0	5,1	5,9	5,6	4,9	4,6	4,1 ^a	4,4 ^a	5,8 ^{ab}	6,3 ^a	4,6 ^b	5,3 ^{ab}
Fruits exotiques	3,9	3,6	3,3	3,0	3,6	3,6	3,6	3,8	2,9 ^a	2,1 ^a	1,0 ^c	1,3 ^{bc}	3,6	4,3	2,7	3,3
Fruits blancs	4,9 ^a	4,4 ^{ab}	4,0 ^{ab}	3,4 ^b	4,3	4,1	5,0	4,3	4,4 ^a	4,1 ^a	2,4 ^b	2,6 ^b	5,4 ^a	5,9 ^a	3,2 ^b	4,3 ^{ab}
Agrumes	4,0 ^a	4,3 ^a	3,3 ^a	2,0 ^b	3,8	3,9	3,1	3,3	3,4 ^a	2,9 ^a	0,9 ^b	0,7 ^b	4,4 ^a	4,0 ^a	2,5 ^b	2,3 ^b
Minéral	3,3	3,3	2,9	2,6	3,6	3,3	2,0	2,1	2,1	2,9	1,3	1,3	3,1	3,1	2,3	2,1
Acidité	5,9 ^a	5,6 ^a	5,1 ^{ab}	4,4 ^b	6,1	6,4	6,3	5,8	5,4	5,4	5,1	5,4	5,3	5,6	4,9	6,0
Gras	4,3 ^b	4,3 ^b	5,3 ^a	5,3 ^a	5,3	5,4	5,1	5,1	5,3	4,4	5,5	4,8	4,6	4,4	5,4	4,6
Concentration aromatique	6,0	5,6	5,7	5,3	6,5	6,5	6,1	6,0	5,9	5,0	5,5	5,6	5,5	6,4	5,8	5,7
Alcool	5,6	5,3	5,0	5,4	5,4	5,4	5,4	5,8	5,3	5,4	5,4	5,5	5,3	5,3	5,2	5,1
Amertume	3,4	3,6	3,7	3,0	3,4	2,9	3,4	3,0	3,4	3,8	2,8	3,9	2,7	2,5	4,0	3,1
Persistance	6,0	5,4	5,7	4,9	6,5	6,6	6,1	6,5	5,9	5,4	5,4	5,9	5,4	6,5	6,3	5,9
Equilibre / harmonie	6,1	5,6	5,0	5,4	6,4	6,0	5,4	5,6	5,9	4,4	4,8	4,6	6,3 ^a	6,8 ^a	4,6 ^b	4,3 ^b
Note globale	6,5 ^a	6,3 ^a	4,8 ^b	4,3 ^b	7,0 ^a	6,5 ^{ab}	5,3 ^b	5,8 ^{ab}	6,6 ^a	5,1 ^b	3,8 ^a	4,0 ^{bc}	6,4 ^a	6,6 ^a	3,8 ^b	3,9 ^b

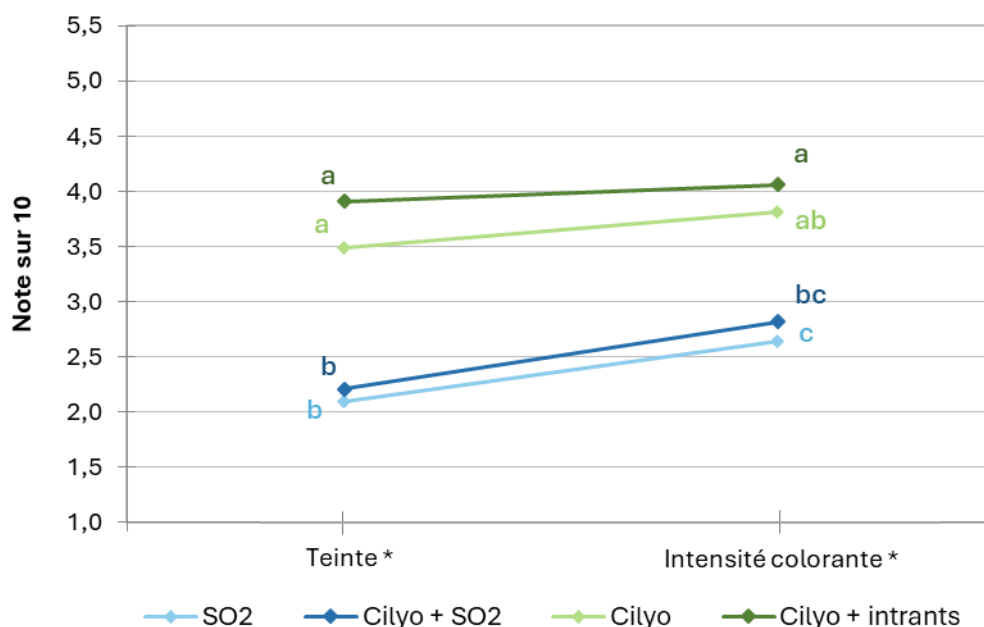
• **Descripteurs visuels :**

Pour chaque millésime, les vins sulfités (« Témoin SO₂ » et « Cilyo + SO₂ ») présentent des notes inférieures sur les descripteurs « teinte » et « intensité colorante ». Le millésime 2022 se révèle toutefois plus à l'écart des autres puisque, cette année-là, les modalités n'étaient pas statistiquement différentes entre elles.

Néanmoins, dans l'ensemble, l'analyse statistique globale des données des quatre millésimes montre un clivage entre les modalités sulfitées et les modalités sans sulfites (Figure 29).

Figure 29 : Notes de dégustation concernant les descripteurs visuels sur les données des millésimes 2021 à 2024

Deux modalités ne partageant aucune lettre en commun sont significativement différentes sur le paramètre évalué (risque α de 5 %)



Les modalités « Témoin SO₂ » et « Cilyo + SO₂ » présentent des reflets verts qui n'apparaissent pas sur les modalités « Cilyo » et « Cilyo + intrants », dont la robe tire sur le jaune pâle/or pâle, l'intensité colorante étant légèrement plus intense dans les vins « Cilyo + intrants » que dans les vins sulfités.

Comme vu dans la partie 3.3.2, l'utilisation du SO₂ joue sur la robe des vins, en maintenant une teinte plus pâle tirant vers le jaune-vert plutôt que vers le jaune doré/ambré.

Figure 30 : Vins du millésime 2023

De gauche à droite : modalités « Témoin SO₂ », « Cilyo + SO₂ », « Cilyo », « Cilyo + intrants »



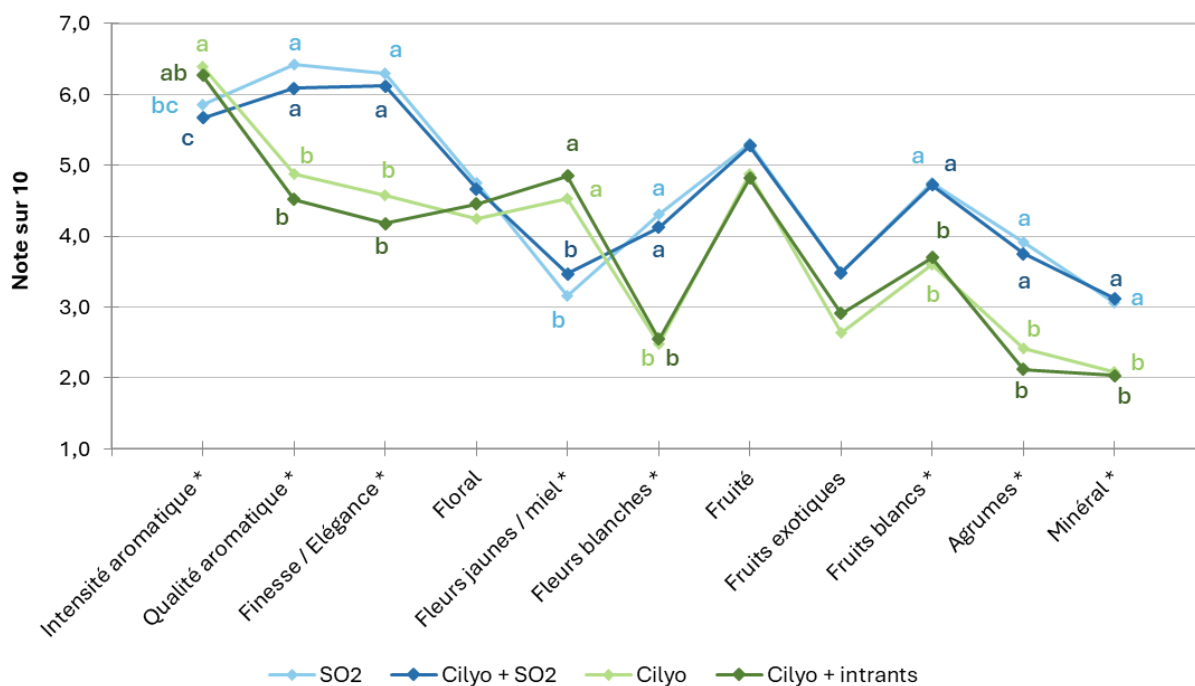
Crédit photo : CRVI de Corse

- **Descripteurs olfactifs :**

Pour chaque millésime, la plupart des différences entre les modalités concerne les descripteurs olfactifs. Bien qu'il existe quelques variations d'un millésime à l'autre, les résultats des dégustations des quatre millésimes mettent en évidence des profils aromatiques distincts entre les modalités sulfitées et les modalités sans sulfites (Figure 31).

Les vins sans sulfites tendent à avoir une intensité aromatique plus élevée, les vins « Cilyo » étant significativement plus intenses que les vins témoins avec sulfites. En revanche, ce gain d'intensité aromatique se fait au détriment de la qualité, les modalités sulfitées présentant une qualité aromatique supérieure, davantage de finesse, de notes de fleurs blanches, de fruits blancs et d'agrumes, ainsi qu'un côté minéral plus marqué. En revanche, les deux modalités sans sulfites présentent davantage de notes de fleurs jaunes.

Figure 31 : Notes de dégustation concernant les descripteurs olfactifs sur les données des millésimes 2021 à 2024
Deux modalités ne partageant aucune lettre en commun sont significativement différentes sur le paramètre évalué (risque α de 5 %)



• **Descripteurs gustatifs :**

Les notations des dégustateurs sont moins tranchées entre les vins concernant les descripteurs gustatifs (Figure 32). Les vins de la modalité « Cilyo » sont jugés plus gras que les vins « Cilyo + SO₂ ».

Un clivage net entre les modalités sulfitées et non sulfitées est néanmoins toujours présent : les vins sulfités sont jugés plus harmonieux, et présentent une note globale largement supérieure.

Figure 32 : Notes de dégustation concernant les paramètres gustatifs sur les données des millésimes 2021 à 2024
Deux modalités ne partageant aucune lettre en commun sont significativement différentes sur le paramètre évalué (risque α de 5 %)

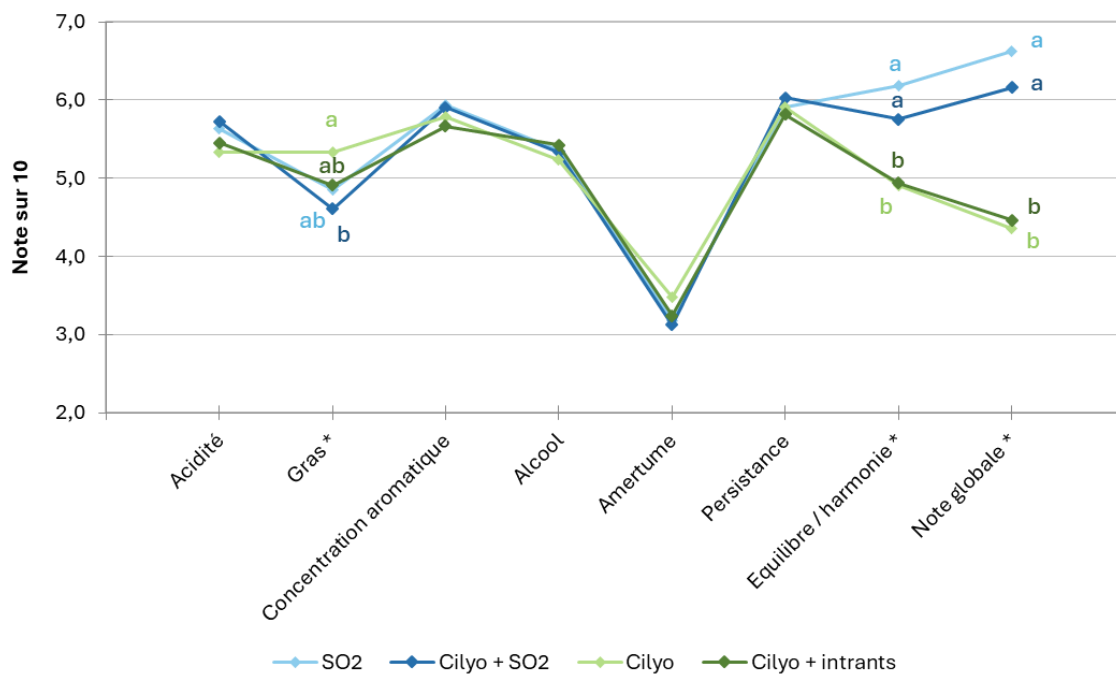


Figure 33 : Dégustation des vins du millésime 2024



3.6.2. Dégustation un an après mise en bouteille

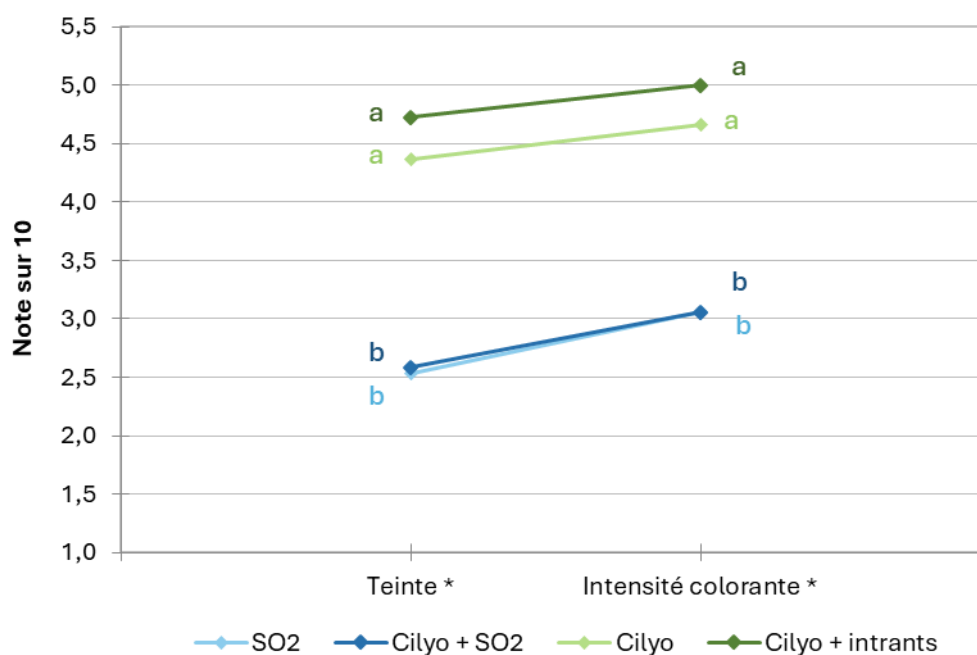
Un an après mise en bouteille, les vins sont de nouveau dégustés par le jury de dégustation afin de caractériser leur évolution et de juger de leur stabilité dans le temps. Pour chaque millésime, les vins des quatre modalités sont dégustés en comparaison. Les résultats sont disponibles dans le Tableau 7.

- **Descripteurs visuels :**

Un an après mise, les différences observées lors de la dégustation après mise en bouteille se creusent (Figure 34). L'écart est à présent net entre les modalités sulfitées et non sulfitées, qui apparaissent plus claires (robe moins intense avec plus de reflets verts).

Figure 34 : Notes de dégustation un après mise en bouteille concernant les descripteurs visuels sur les données des millésimes 2021 à 2024

Deux modalités ne partageant aucune lettre en commun sont significativement différentes sur le paramètre évalué (risque α de 5 %)

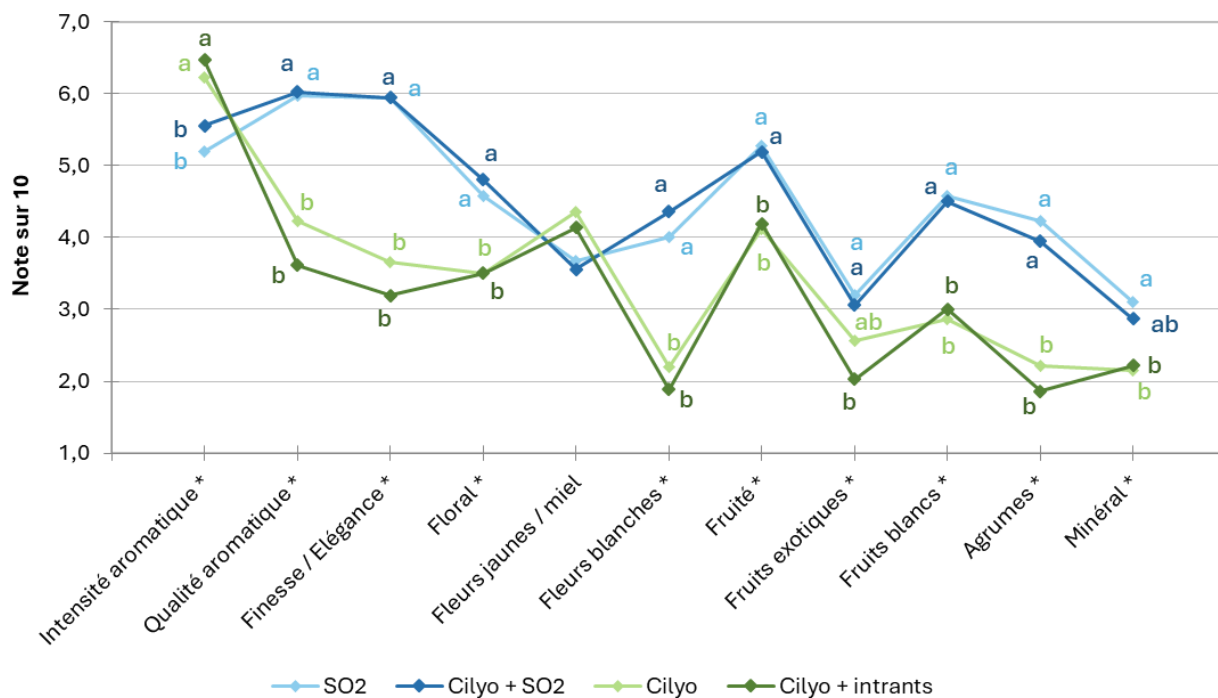


- **Descripteurs olfactifs :**

Les différences déjà observées lors de l'analyse sensorielle après mise en bouteille sont identiques à celles relevées lors de la dégustation un an après mise. En revanche, la division entre les modalités sulfitées et non sulfitées est statistiquement plus tranchée (Figure 35).

Figure 35 : Notes de dégustation un an après mise concernant les descripteurs olfactifs sur les données des millésimes 2021 à 2024

Deux modalités ne partageant aucune lettre en commun sont significativement différentes sur le paramètre évalué (risque α de 5 %)



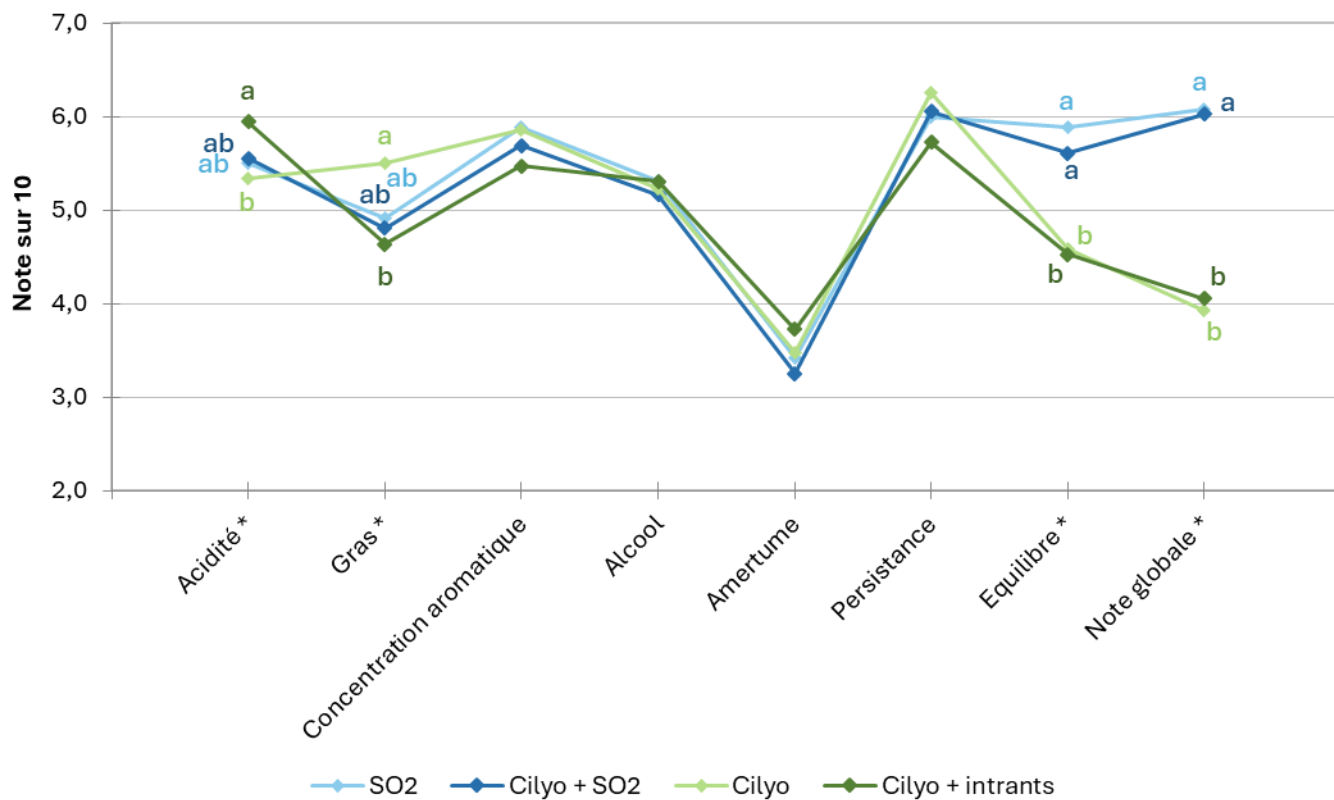
• **Descripteurs gustatifs :**

L'équilibre en bouche évolue : les vins de la modalité « Cilyo + intrants » semblent s'amaigrir au cours de l'élevage en bouteille par rapport aux vins de la modalité « Cilyo », jugés moins acides et avec plus de gras (Figure 36).

Le clivage est toujours marqué entre les modalités non sulfitées et les modalités sulfitées, jugées plus harmonieuses et présentant, *in fine*, une note globale plus élevée.

Figure 36 : Notes de dégustation un an après mise concernant les paramètres gustatifs sur les données des millésimes 2021 à 2024

Deux modalités ne partageant aucune lettre en commun sont significativement différentes sur le paramètre évalué (risque α de 5 %)



Ce qu'il faut retenir de l'analyse sensorielle :

Les principales différences entre les vins s'expriment essentiellement au niveau visuel et olfactif. Un clivage net apparaît entre les vins sulfités et non sulfités, plus marqué que celui qui pourrait être observé entre les modalités avec ou sans oxygénation contrôlée des moûts.

L'utilisation de SO₂, qu'elle soit appliquée à dose classique ou réduite, favorise l'expression d'un profil aromatique plus frais, caractérisé par des notes de fleurs blanches, de fruits blancs et d'agrumes, ainsi qu'une qualité aromatique jugée supérieure. Elle s'accompagne également d'une intensité colorante plus faible, avec une robe davantage marquée par des reflets verts. En bouche, l'oxygénation contrôlée des moûts semble accentuer la rondeur. En revanche, l'ajout d'intrants dans la modalité « Cilyo + intrants » tend, au contraire, à entraîner un amaigrissement des vins au cours de l'élevage.

Dans ce contexte, les vins sulfités sont jugés plus harmonieux et sont nettement préférés par le jury de dégustation, cet écart s'accroissant au cours du vieillissement.

En revanche, aucune différence statistiquement significative n'est mise en évidence entre les vins témoins sulfités selon une modalité « classique » (« SO₂ ») et ceux élaborés avec des teneurs réduites en sulfites.

Ces résultats confirment l'intérêt de l'outil Cilyo dans une stratégie de réduction des teneurs en SO₂ : les vins issus de cet itinéraire de vinification présentent des caractéristiques organoleptiques comparables à celles des vins témoins.

Tableau 7 : Synthèse des résultats de l'analyse sensorielle un après mise en bouteille pour chaque millésime (2021 à 2024)
Deux modalités ne partageant aucune lettre en commun sont significativement différentes sur le paramètre évalué (risque α de 5 %)

Paramètre	Millésime 2021				Millésime 2022				Millésime 2023				Millésime 2024			
	SO2	Cilyo + SO2	Cilyo	Cilyo + intrants	SO2	Cilyo + SO2	Cilyo	Cilyo + intrants	SO2	Cilyo + SO2	Cilyo	Cilyo + intrants	SO2	Cilyo + SO2	Cilyo	Cilyo + intrants
Teinte	1,6 ^b	1,6 ^b	4,1 ^a	4,0 ^a	2,6 ^b	2,6 ^b	4,2 ^a	4,1 ^a	3,6 ^c	3,4 ^c	5,3 ^b	6,7 ^a	2,1 ^b	2,6 ^b	3,7 ^a	3,8 ^a
Intensité colorante	2,1 ^b	2,5 ^b	5,1 ^a	4,6 ^a	2,7 ^b	2,7 ^b	4,9 ^a	4,8 ^a	4,3	4,0	4,6	5,9	2,6 ^b	3,2 ^b	4,1 ^a	4,6 ^a
Intensité aromatique	5,5 ^b	4,9 ^b	6,6 ^a	5,4 ^b	5,4	6,2	6,4	6,3	5,2 ^c	5,5 ^c	6,3 ^b	7,0 ^a	5,2 ^{bc}	5,0 ^c	5,6 ^{bc}	7,0 ^a
Qualité aromatique	5,8	6,0	4,5 ^b	4,4 ^b	6,1 ^a	6,2 ^a	4,4 ^b	4,0 ^b	6,1 ^a	6,2 ^a	4,7 ^b	3,1 ^c	5,7 ^a	5,9 ^a	3,2 ^b	3,1 ^b
Finesse / Élégance	6,0	6,3	3,7 ^b	4,0 ^b	5,9 ^a	6,0 ^a	3,9 ^b	3,8 ^b	5,9 ^a	6,3 ^a	4,3 ^b	2,7 ^c	5,8 ^a	5,4 ^a	2,7 ^b	2,4 ^b
Floral	4,6 ^{ab}	4,3 ^a	3,0 ^{bc}	2,8 ^c	5,2	4,7	3,8	3,4	4,2	5,1	4,0	3,8	4,7	4,8	3,1	3,9
Fleurs jaunes / miel	2,9	3,4	3,6	2,9	3,6	3,7	4,2	3,9	3,4 ^b	3,2 ^b	5,3 ^a	5,1 ^a	4,3	4,4	4,1	4,4
Fleurs blanches	4,1	4,1	2,4 ^b	1,9 ^b	3,8 ^a	3,7 ^a	2,0 ^b	2,4 ^b	4,2 ^b	5,0 ^a	2,2 ^c	1,9 ^c	3,9 ^a	4,6 ^a	2,2 ^b	1,3 ^b
Fruité	5,3 ^{ab}	5,1 ^a	4,1 ^b	2,9 ^c	4,9	4,8	4,8	4,8	5,5 ^a	5,1 ^{ab}	3,9 ^b	4,3 ^{ab}	5,6 ^a	5,7 ^a	3,7 ^b	4,7 ^{ab}
Fruits exotiques	4,1	3,6	3,1 ^{ab}	2,4 ^b	3,2	3,0	2,9	2,3	2,9	2,2	2,2	1,8	3,1	3,1	2,1	1,7
Fruits blancs	4,9	4,9	2,4 ^b	2,5 ^b	4,9 ^a	3,4 ^{bc}	3,3 ^c	4,0 ^{abc}	4,5 ^a	4,9 ^a	2,9 ^b	2,8 ^b	4,1 ^{abc}	4,8 ^a	2,8 ^{bc}	2,7 ^c
Agrumes	4,3	4,4	2,5 ^b	2,1 ^b	4,6 ^a	3,9 ^{ab}	2,7 ^b	2,6 ^b	4,2 ^a	3,8 ^a	1,5 ^b	1,3 ^b	3,8 ^a	3,9 ^a	2,3 ^{ab}	1,6 ^b
Minéral	3,4	3,4	2,2 ^b	2,6 ^{ab}	2,6	2,6	1,8	2,7	2,6 ^a	2,4 ^a	1,9 ^b	1,8 ^b	3,9	3,1	2,8	1,9
Acidité	6,0	5,3	5,0	5,4	5,8	6,2	5,6	6,4	5,4	5,2	5,1	5,6	5,6 ^{ab}	4,9 ^b	5,7 ^{ab}	6,3 ^a
Gras	4,6 ^b	4,9 ^b	6,1 ^a	5,4 ^{ab}	5,2	4,6	5,0	4,4	4,7	4,7	5,8	5,0	4,9	5,3	5,1	3,8
Concentration aromatique	6,0	6,0	5,8	5,1	5,8	5,1	5,8	5,2	5,8	5,5	6,3	6,2	6,0	6,2	5,6	5,2
Alcool	5,3	5,4	5,4	5,8	5,4	5,1	5,2	5,2	5,6	5,3	5,4	5,4	4,8	5,0	4,9	4,9
Amertume	3,0	3,8	3,0	3,5	3,3	3,4	3,1	3,7	3,5	3,4	3,5	3,6	3,1	3,1	4,2	4,1
Persistance	6,1	6,3	5,9	5,8	5,8	5,8	6,1	5,2	6,1	6,2	6,6	5,9	5,9	6,1	6,3	6,0
Equilibre / harmonie	6,0 ^a	6,3 ^a	4,4 ^b	5,0 ^b	5,7	4,8	4,4	4,3	6,2 ^a	5,9 ^{abc}	4,9 ^{bc}	4,7 ^c	5,4 ^a	5,8 ^a	4,6 ^{ab}	4,1 ^b
Note globale	6,5 ^a	6,4 ^a	4,3 ^b	5,1 ^b	6,0 ^a	5,6 ^a	3,8 ^b	4,0 ^b	6,1 ^a	6,3 ^a	4,0 ^b	3,1 ^b	5,9 ^a	5,8 ^a	3,7 ^b	4,2 ^b

Conclusion

Quatre itinéraires techniques de vinification ont été étudiés afin d'évaluer l'intérêt de l'outil Cilyo reposant sur le principe d'oxygénation contrôlée des moûts pour la gestion des sulfites en cave.

L'injection d'oxygène dans les modalités concernées a entraîné un brunissement des moûts ainsi que la précipitation d'acides phénols, éliminés par la suite lors de la clarification. Cette différence de couleur s'atténue au cours de la fermentation alcoolique, les vins finis présentant des robes conformes à celles de vins blancs jeunes. Les modalités sulfitées, qu'elles soient à dose réduite ou plus « classique », conservent toutefois une robe plus claire, avec davantage de reflets verts.

L'oxygénation contrôlée des confère une certaine stabilité oxydative, sans toutefois prévenir totalement d'éventuelles contaminations microbiologiques : la fermentation malolactique s'est parfois enclenchée spontanément sur les matrices sans sulfites. Il est à souligner que, dans l'itinéraire technique « sans sulfites mais avec intrants alternatifs au SO₂ », les produits utilisés ont permis de maîtriser ces déclenchements.

En dehors des paramètres colorimétriques (brunissement des moûts) et de l'évolution de l'acide malique (FML spontanée), les différences physico-chimiques entre les vins se limitent aux teneurs en SO₂. Les vins élaborés avec une dose réduite de sulfites et ayant bénéficié de l'oxygénation contrôlée présentent des niveaux de SO₂ libre comparables aux témoins, pour des teneurs en SO₂ total plus faibles. L'outil Cilyo permet ainsi de réduire efficacement les apports en SO₂ sans compromettre la protection du vin au cours de la vinification ni sa qualité aromatique, l'oxygénation des moûts, lorsqu'elle est combinée à une dose réduite de sulfites, n'affectant pas les teneurs en esters ni en thiols variétaux. En revanche, le recours ou non au SO₂ en phase post-fermentaire influence significativement la composition en composés volatils. Par ailleurs, les écarts entre modalités, variables selon les millésimes, tendent à s'accroître au cours de l'élevage en bouteille.

Ces différences se traduisent sur le plan sensoriel : les vins vinifiés avec sulfites, qu'ils aient ou non subi une oxygénation des moûts, présentent significativement plus de fraîcheur aromatique.

En conclusion, cet outil apparaît pertinent pour réduire les teneurs en sulfites : associé à des apports post-fermentaires modérés, il permet de préserver les caractéristiques physico-chimiques et sensorielles des vins tout en diminuant le SO₂ total. Il ne suffit cependant pas, à lui seul, à assurer une protection optimale dans des itinéraires sans sulfites. Même combiné à des intrants alternatifs, il conduit à des profils sensoriels nettement distincts des témoins, dans l'ensemble moins bien évalués à la dégustation.

Bibliographie

Allen, T., Herbst-Johnstone, M., Girault, M., Butler, P., Logan, G., Jouanneau, S., Kilmartin, P. A. (2011). Influence of grape-harvesting steps on varietal thiol aromas in Sauvignon blanc wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59 (19), 10641-10650.

Bagard, A., Salva, G., Raoulx-Pantalacci, N., Vallée, D., Borde, L., Lavergne, C., Albertini, M. (1995). Caractéristiques générale et aptitudes des cépages corses. [CIVAM de la région Corse](#).

Boulton, R. B., Singleton V. L., Bisson L. F., Kunkee R. E. (1996). *Principles and Practices of Winemaking*. Chapman & Hall.

Cheynier V., Souquet J. M., Samson A., Moutounet M. (1991). Hyperoxidation: influence of various oxygen supply levels on oxidation kinetics of phenolic compounds and wine quality. *Vitis*. 30, 107-115.

Cejudo-Bastante, M.J.; Castro-Vázquez, L.; Hermosín-Gutiérrez, I.; Pérez-Coello, M.S. (2011). Combined effects of prefermentative skin maceration and oxygen addition of must on color-related phenolics, volatile composition, and sensory characteristics of Airén white wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*., 59, 12171-12182.

Coetzee, C., Lisjak, K., Nicolau, L., Kilmartin, P. and du Toit, W.J. (2013). Oxygen and sulfur dioxide additions to Sauvignon blanc must: effect on must and wine composition. *Flavour and Fragrance Journal*. 28, 155-167.

Coetzee, C., du Toit, W.J. (2015). Sauvignon Blanc Wine: Contribution of Ageing and Oxygen on Aromatic and Non-aromatic Compounds and Sensory Composition : A Review. *South African Journal of Enology and Viticulture*. 36 (3), 347-365.

Danilewics, J. C. (2007). Interaction of sulfur dioxide, polyphenols, and oxygen in a wine-model system: centrak rike of iron and copper. *American Journal of Enology and Viticulture*. 58, 53-60.

Danilewics, J. C., Seccombe, J. T., Whelan, J. (2008). Mechanim of interaction of polyphneols, oxygen, and sulfur dioxide in model wine and wine. *American Journal of Enology and Viticulture*. 59, 128-136.

Du Toit, W., Marais, J., Pretorius, I., du Toit, M. (2017). Oxygen in Must and Wine: A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*. 27(1), 76-94.

Filipe-Ribeiro, L., Cosme, F., Nunes, F. M., Jordão, A. M. (2021). Reducing the negative effect on white wine chromatic characteristics and sensory qualities by oxygen management strategies. *Foods*. 10(9), 1990-2023.

Gabrielli, M., Fracassetti, D., Romanini, E., Colangelo, D., Tirelli, A., Lambri, M. (2021). Oxygen-induced faults in bottled white wine: A review of technological and chemical characteristics. *Food Chemistry*. 348, 128922.

Guth, H. (1997). Quantitation and sensory studies of character impact odorants of different white wine varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45, 3027-3032.

Jurd, L. (1964). Reactions involved in sulfite bleaching of anthocyanins. *Journal of Food Science*. 29, 16-19.

Li H., Guo A., Wang H. (2008). Mechanisms of oxidative browning of wine. *Food Chemistry*. 108(1), 1–13.

Li, Y., Zhang, Q., Liu, X., Bian, X., Li, J., Meng, N., Li, J. (2025). Flavor Interactions in Wine: Current Status and Future Directions From Interdisciplinary and Crossmodal Perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 24(3), e70199.

Lukić, I., Horvat, I., Radeka, S., Damijanić, K., Staver, M. (2019). Effect of different levels of skin disruption and contact with oxygen during grape processing on phenols, volatile aromas, and sensory characteristics of white wine. *Journal of Food Processing and Preservation*. 43, e13969.

Lytra, G., Tempere, S., Le Floch, A., de Revel, G., Barbe, J. C. (2013). Study of sensory interactions among red wine fruity esters in a model solution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61, 8504-8513.

Makhotkina, O., Kilmartin, P. A. 2013. Electrochemical Oxidation of Wine Polyphenols in the Presence of Sulfur Dioxide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 63 (21), 5573-5581.

Niu, Y., Wang, P., Xiao, Z., Zhu, J., Sun, X., Wang, R. (2019). Evaluation of the perceptual interaction among ester aroma compounds in cherry wines by GC–MS, GC–O, odor threshold and sensory analysis: An insight at the molecular level. *Food Chemistry*. 275, 143-153.

Oliveira C. M., Ferreira A. C. S., De Freitas V., Silva A. M. S. (2011). Oxidation mechanisms occurring in wines. *Food Research International*. 44(5), 1115–1126.

Peinado R. A., Moreno, J., Bueno, J. E., Moreno, J. A., Mauricio, J. C. (2004). Comparative study of aromatic compounds in two young white wines subjected to pre-fermentative cryomaceration. *Food Chemistry*. 84, 585-590.

Pineau, B., Barbe, J. C., Van Leeuwen, C., Dubourdieu, D. (2009). Examples of perceptive interactions involved in specific “Red-“ and “Black-berry” aromas in red wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57, 3702-3708.

Ribereau-Gayon P., Dubourdieu D., Doneche B., Lonvaud A. *Traité d’oenologie, Volume 1 : Microbiologie du vin et vinifications*. 5^e éd. Paris, Dunod.

Rihak, Z., Prusova, B., Kumsta, M., Baron, M. (2022). Effect of Must Hyperoxygenation on Sensory Expression and chemical composition of the resulting wines. *Moelcules*. 27(1), 235.

Schneider V. (1998). Must hyperoxidation: a review. *American Journal of Enology and Viticulture*. 49, 65–73.

Sioumis N., Kallithraka S., Makris D. P., Kefalas P. (2008). Kinetics of browning onset in white wines: influence of principal redox-active polyphenols and impact on the reducing capacity. *Food Chemistry*. 94(1), 98-104.

Tarko, T., Duda-Chodak, A., Sroka, P., Siuta, M. (2020). The Impact of Oxygen at Various Stages of Vinification on the Chemical Composition and the Antioxidant and Sensory Properties of White and Red Wines. *International Journal of Food Science*. 1–12.

Tominaga, T., Guimberteau, G., Dubourdieu, D. (2003). Contribution of benzenemethanethiol to smoky aroma of certain *Vitis vinifera* L. wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51, 1373-1376.

Uscidda, N., Ciccolini, G., Salva, G., Boursiquot, J.M., Gaveau, F. (2017). *Le Riacquistu des Cépages Corses*.

Vaimakis, V., Roussis, I. G. (1996). Must oxygenation together with glutathione addition in the oxidation of white wine. *Food Chemistry*, 57(3), 419-422.

Vannevel, S., Brand, J., Buica, A., Du Toit, W. (2021). The temporal sensory interaction between 3-Mercaptohexanol, 3-Mercaptohexyl Acetate and Ethanethiol using TRATA. *IVES Conference Series, Macrowine 2021*.

Wrolstad, R. E., Durst, R. W., Lee, J. (2005). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science & Technology*. 16, 423-428.

Travaux subventionnés par FranceAgriMer

Directrice Générale : Nathalie USCIDDA

○○○○○

Gille SALVA, directeur du Pôle Végétal

Fanny ANDRE, ingénieure agronome et œnologue en charge des programmes
œnologiques, responsable des mini-vinifications

Tom BENEJAM, ingénieur environnement, en charge des programmes de stratégies
viticoles

Caroline BRIGATO DE PERETTI, responsable qualité et dégustations

Axelle CIANFARANI, chargée de mission microbiologie

Gabrielle CICCOLINI, ingénieure en charge de la gestion du matériel végétal, membre
du CTPS (section vigne)

Amélie LAMBERT, chargée de mission des programmes en lien avec le changement
climatique, animatrice du programme Vitilience, gestionnaire du démonstrateur
Viticors'alti

Marion MAESTRACCI, Agent de support technique

Ange Pierre MICHELANGELI, Responsable technique du laboratoire COFRAC

Damien ZANARDO, gestionnaire de l'exploitation viticole du CRVI, technicien en charge
du domaine expérimental et travail du chai

○○○○○○○○○○○○○○○○○○

Présidente : Josée VANUCCI-COULOUMERE

Directrice de la publication : Nathalie USCIDDA

ANNEXES

ANNEXE 1 : Analyses microbiologiques des moûts pour les millésimes 2021 à 2024

Millésime	Modalité	Stade	Bactéries acétiques	Bactéries lactiques	<i>Brettanomyces</i>	Non- <i>Saccharomyces</i>	Levures	Moisissures	Flore totale
			UFC/ml	UFC/ml	UFC/ml	UFC/ml	UFC/ml	UFC/ml	UFC/ml
2021	Témoin SO ₂	Moût	2,00E+03	<10	2,00E+02	3,00E+04	1,00E+05	1,00E+02	1,00E+05
	Cilyo + SO ₂	Moût	2,00E+04	<10	2,00E+03	6,00E+04	9,00E+05	8,00E+02	1,00E+06
	Cilyo	Moût	2,00E+04	2,00E+02	5,00E+02	8,00E+04	1,00E+05	2,00E+02	2,00E+05
	Cilyo + intrants	Moût	2,00E+04	2,00E+02	5,00E+02	8,00E+04	1,00E+05	2,00E+02	2,00E+05
2022	Témoin SO ₂	Moût	6 E+04	<10	3 E+05	1 E+05	2 E+05	<1	7 E+05
	Cilyo + SO ₂	Moût	1 E+05	<10	2 E+05	1 E+05	2 E+05	<1	8 E+05
	Cilyo	Moût	1 E+05	<10	2 E+05	1 E+05	2 E+05	<1	7 E+05
	Cilyo + intrants	Moût	1 E+05	4 E+01	3 E+05	1 E+05	2 E+05	<1	1 E+05
2023	Témoin SO ₂	Moût	8,00E+04	7,00E+04	<10	3,00E+05	2,00E+05	<10	4,00E+05
	Cilyo + SO ₂	Moût	6,00E+04	2,00E+04	<10	2,00E+04	3,00E+05	<10	4,00E+05
	Cilyo	Moût	8,00E+04	5,00E+04	<10	2,00E+05	2,00E+05	2,00E+01	4,00E+05
	Cilyo + intrants	Moût	2,00E+04	9,00E+03	<10ml	6,00E+04	2,00E+05	<10	4,00E+05
2024	Témoin SO ₂	Moût	1,00E+04	1,00E+04	<10	8,00E+06	1,00E+07	<10	TNTC
	Cilyo + SO ₂	Moût	6,00E+04	1,00E+05	<10	8,00E+06	1,00E+07	<10	TNTC
	Cilyo	Moût	5,00E+04	5,00E+04	<10	1,00E+07	1,00E+07	100	TNTC
	Cilyo + intrants	Moût	6,00E+04	7,00E+04	<10	1,00E+07	1,00E+07	<10	TNTC

TNTC : Too Numerous To Count

ANNEXE 2 : Analyses microbiologiques des vins en fin de FA pour les millésimes 2021 à 2024

Millésime	Modalité	Stade	Bactéries acétiques	Bactéries lactiques	Brettanomyces	Non-Saccharomyces	Levures	Moisissures	Flore totale
			UFC/ml	UFC/ml	UFC/ml	UFC/ml	UFC/ml	UFC/ml	UFC/ml
2021	Témoin SO ₂	Fin FA	<10	<10	<10	<10	<10	<10	2,00E+01
	Cilyo + SO ₂	Fin FA	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Cilyo	Fin FA	<10	1,00E+01	<10	<10	<10	<10	<10
	Cilyo + intrants	Fin FA	<10	1,00E+01	<10	<10	<10	<10	<10
2022	Témoin SO ₂	Fin FA	<1	<10	<1	<10	5/10ml	<1	20
	Cilyo + SO ₂	Fin FA	<1	<10	<1	<10	7	1	300
	Cilyo	Fin FA	<1	<10	<1	<10	50	<1	200
	Cilyo + intrants	Fin FA	<1	<10	<1	<10	5	<1	60
2023	Témoin SO ₂	Fin FA	<10	<10	<10	<10	<10	<10	4,00E+01
	Cilyo + SO ₂	Fin FA	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Cilyo	Fin FA	<10	<10	<10	<10	<10	<10	2,00E+01
	Cilyo + intrants	Fin FA	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
2024	Témoin SO ₂	Fin FA	1,00E+03	1,00E+03	<10	7,00E+03	1,00E+04	5,00E+01	1,00E+04
	Cilyo + SO ₂	Fin FA	2,00E+03	2,00E+03	<10	3,00E+04	3,00E+04	7,00E+01	2,00E+04
	Cilyo	Fin FA	1,00E+02	7,00E+01	<10	9,00E+03	1,00E+04	<10	9,00E+03
	Cilyo + intrants	Fin FA	3,00E+03	3,00E+03	<10	1,00E+04	2,00E+04	2,00E+02	2,00E+04

ANNEXE 3 : Analyses microbiologiques des vins à la mise pour les millésimes 2021 à 2024

Millésime	Modalité	Stade	Bactéries acétiques <i>UFC/ml</i>	Bactéries lactiques <i>UFC/ml</i>	<i>Brettanomyces</i> <i>UFC/ml</i>	Non- <i>Saccharomyces</i> <i>UFC/ml</i>	Levures <i>UFC/ml</i>	Moisissures <i>UFC/ml</i>	Flore totale <i>UFC/ml</i>
2021	Témoin SO ₂	Mise	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	1/10mL	<1/10mL	6,00E+00
	Cilyo + SO ₂	Mise	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Cilyo	Mise	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	8,00E+03	<1/10mL	TNTC
	Cilyo + intrants	Mise	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	6/10mL
2022	Témoin SO ₂	Mise	<1/10ml	5	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	1 E+01
	Cilyo + SO ₂	Mise	<1/10ml	2	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	5
	Cilyo	Mise	<1/10ml	7	<1/10ml	<1/10ml	1/10ml	<1/10ml	1 E+01
	Cilyo + intrants	Mise	<1/10ml	3	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	6
2023	Témoin SO ₂	Mise	<1/10ml	3	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	5
	Cilyo + SO ₂	Mise	<1/10ml	4	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	8
	Cilyo	Mise	<1/10ml	8	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	8
	Cilyo + intrants	Mise	<1/10ml	2	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	5
2024	Témoin SO ₂	Mise	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	70
	Cilyo + SO ₂	Mise	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	6
	Cilyo	Mise	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	TNTC/10	4,00E+02	<1/10 ml	TNTC/10
	Cilyo + intrants	Mise	<1/10 ml	1,00E+05	<1/10 ml	TNTC/10	300	<1/10 ml	TNTC/10

TNTC : Too Numerous To Count

NA : Non analysé

ANNEXE 4 : Analyses microbiologiques des vins six mois après mise en bouteille pour les millésimes 2021 à 2024

Millésime	Modalité	Stade	Bactéries acétiques <i>UFC/ml</i>	Bactéries lactiques <i>UFC/ml</i>	<i>Brettanomyces</i> <i>UFC/ml</i>	Non- <i>Saccharomyces</i> <i>UFC/ml</i>	Levures <i>UFC/ml</i>	Moisissures <i>UFC/ml</i>	Flore totale <i>UFC/ml</i>
2021	Témoin SO ₂	6 mois après mise	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	1/10mL	2/10mL
	Cilyo + SO ₂	6 mois après mise	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	5/10mL	2 E+01
	Cilyo	6 mois après mise	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	1/10mL	2 E+01
	Cilyo + intrants	6 mois après mise	<1/10mL	3 E+03	<1/10mL	<1/10mL	<1/10mL	1/10mL	2 E+01
2022	Témoin SO ₂	6 mois après mise	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	7
	Cilyo + SO ₂	6 mois après mise	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	3
	Cilyo	6 mois après mise	<1/10ml	8 E+04	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	4 E+04
	Cilyo + intrants	6 mois après mise	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	1
2023	Témoin SO ₂	6 mois après mise	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	30
	Cilyo + SO ₂	6 mois après mise	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml
	Cilyo	6 mois après mise	<1/10ml	3000	<1/10ml	<1/10ml	1/10ml	<1/10ml	3000
	Cilyo + intrants	6 mois après mise	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	<1/10ml	1/10ml
2024	Témoin SO ₂	6 mois après mise	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	1,00E+02
	Cilyo + SO ₂	6 mois après mise	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	8,00E+01
	Cilyo	6 mois après mise	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	1/10 ml	1,00E+02
	Cilyo + intrants	6 mois après mise	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	<1/10 ml	7,00E+01

TNTC : Too Numerous To Count