

INSTITUT FRANÇAIS  
DE LA VIGNE ET DU VIN

ITINÉRAIRES  
N° 31

# Les sulfites en œnologie



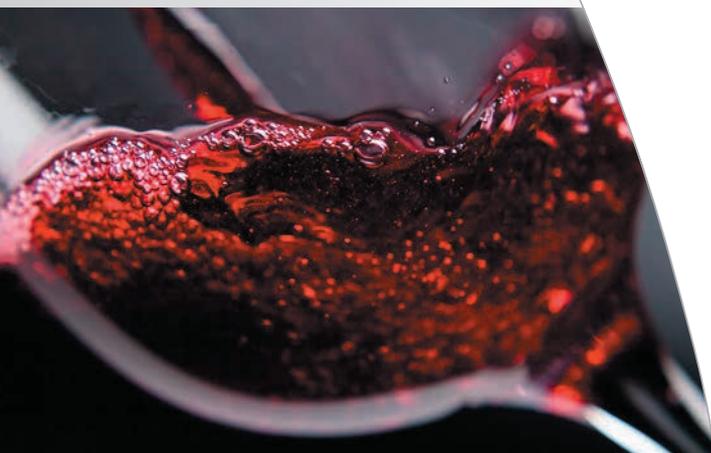
# INTRODUCTION

L'utilisation du dioxyde de soufre en œnologie ( $\text{SO}_2$ ) s'est généralisée depuis la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Combinant de nombreuses propriétés technologiques, cet additif s'est très vite imposé comme un outil universel et incontournable pour l'élaboration des vins. Aucun procédé, aucun autre additif n'est en mesure, à ce jour, de le remplacer totalement compte tenu de son large spectre d'actions, de sa facilité d'utilisation et de son faible coût.

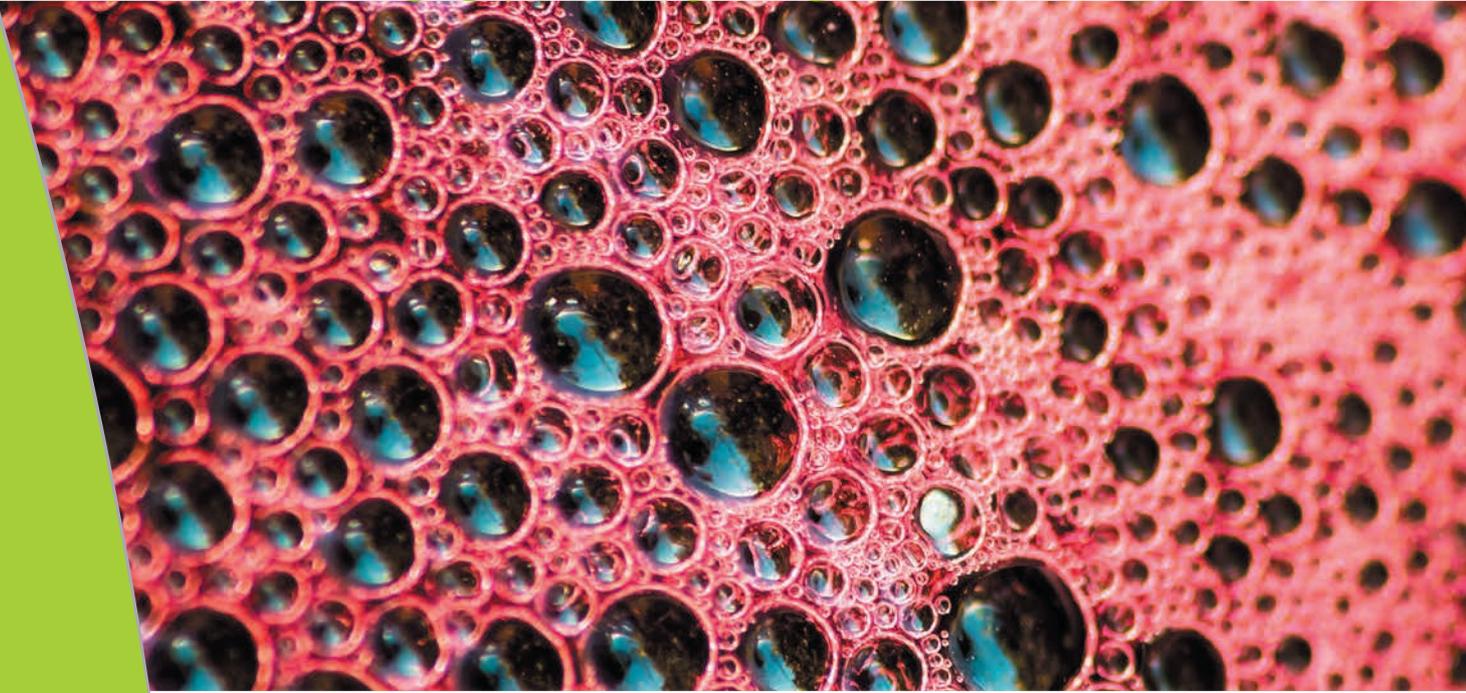
L'évolution de la réglementation et des pratiques œnologiques, au cours des vingt dernières années, s'est traduite par une importante réduction des teneurs en sulfites dans les vins proposés à la consommation. Pour autant, réduire les teneurs en sulfites dans les vins, voire les supprimer, reste une préoccupation majeure de la filière viticole.

Face à une inquiétude croissante des consommateurs vis-à-vis des additifs et conservateurs « synthétiques » utilisés dans les aliments, les viticulteurs s'engagent de plus en plus dans la production de vins à faibles teneurs en sulfites, voire sans sulfites ajoutés. La réduction ou l'absence de recours au  $\text{SO}_2$  soulève cependant un certain nombre de questions techniques quant à l'élaboration des vins, notamment la maîtrise de l'oxydation et la prévention des altérations microbiennes. De ce fait, des solutions alternatives robustes et applicables en cave sont plus que jamais attendues par les praticiens pour s'engager en confiance dans une réduction significative, voire drastique, des sulfites dans les vins, tout en maintenant autant que possible qualité et originalité sensorielles des produits sur le long terme.

*Fruit d'une collaboration entre différents partenaires, ce Cahier Itinéraires propose de faire le point sur les connaissances actuelles, d'approfondir certains sujets et d'apporter au praticien méthodes et outils pour réduire plus ou moins drastiquement l'emploi de sulfites. Il relate également des expériences conduites dans différentes régions viticoles.*



# Sommaire



<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>Sommaire</b>	<b>3</b>
<b>Chapitre 1 : Les sulfites dans les vins</b>	<b>4</b>
• Origine des sulfites dans les vins	
• Chimie du dioxyde de soufre	
• Propriétés technologiques du dioxyde de soufre	
• L'emploi du dioxyde de soufre	
• Réglementation	
<b>Chapitre 2 : Les alternatives aux sulfites</b>	<b>12</b>
• Lutter contre l'effet de l'oxygène	
• Lutter contre les micro-organismes indésirables	
• Améliorer l'efficacité du SO <sub>2</sub> ajouté	
• Les procédés innovants	
<b>Chapitre 3 : Réduire les teneurs en sulfites dans les vins</b>	<b>20</b>
• Stratégie : raisonner l'itinéraire d'élaboration dans sa globalité, selon l'objectif sensoriel	
• Les outils à mettre en œuvre	
• Ne plus sulfiter ?	
<b>Chapitre 4 : Expériences en situations pilotes</b>	<b>27</b>
• Contexte des expérimentations	
• Vins blancs du Sud-Ouest	
• Vins blancs de Bourgogne	
• Vins rouges de Bordeaux	
• Vins rouges de la Vallée du Rhône	
• Vins rosés de Provence	
• Vins de Champagne	
<b>Conclusion</b>	<b>34</b>
• Les perspectives : procéder étapes par étapes, allier innovation et raison	
<b>Bibliographie</b>	<b>35</b>

### Origine des sulfites dans les vins

#### Production par les levures

En l'absence de sulfites ajoutés, le vin contient naturellement une certaine quantité de sulfites synthétisés par les levures. Souvent limitée à quelques milligrammes par litre, cette formation de SO<sub>2</sub> atteint assez couramment en cave 30 à 50 mg/L et jusqu'à 150 à 200 mg/L en situations extrêmes. Cette synthèse s'opère à partir des sulfates présents dans

le moût. Elle est accrue par l'aération, la clarification et le chauffage des moûts, les carences en acides aminés soufrés (méthionine, cystéine) et en thiamine. L'emploi de levures sélectionnées est un moyen de prévention efficace.

#### Additif

Le dioxyde de soufre est un additif utilisé tout au long de l'itinéraire d'élaboration

du vin. Il provient essentiellement de l'industrie du pétrole. Accessoirement, il existe également des sources volcaniques. Les produits œnologiques doivent répondre aux critères de pureté définis par la réglementation (Règlement (UE) n°231/2012). Les différentes formes sont présentées dans le tableau ci-dessous.

ETAT	FORMES DE SO <sub>2</sub>	UTILISATION	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<b>SOLIDE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Soufre combustible (S) : mèches, pastilles</li> <li>S devient SO<sub>2</sub> gaz par combustion, puis H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> en solution aqueuse au contact du vin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Récipients en bois : fûts, foudres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simple, pur, bonne incorporation dans le vin</li> <li>Pour les pastilles, pas de dépôt au fond de la barrique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dosage peu précis, désagréable à l'emploi, apport de faibles doses uniquement</li> <li>Pour les mèches, perte par fonte partielle du soufre qui tombe au fond de la barrique</li> </ul>
<b>LIQUIDE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solution sulfureuse</li> <li>Bisulfite de potassium</li> <li>Bisulfite d'ammonium</li> <li>SO<sub>2</sub> moléculaire en solutions aqueuses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apport en goutte à goutte sur la vendange</li> <li>Incorporation au vin avec homogénéisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Polyvalent, pur pour la solution sulfureuse de 5 à 18 %</li> <li>Relativement stable pour le bisulfite de potassium</li> <li>Très stable et inodore pour le bisulfite d'ammonium</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Préparation désagréable, titre de la solution non stable. Apport de potassium</li> <li>Apport d'ammonium, utilisation exclusive sur moûts</li> </ul>
<b>GAZ LIQUÉFIÉ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SO<sub>2</sub> moléculaire sous forme liquide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incorporation par sulfidoseur (SO<sub>2</sub> devient gaz à pression ambiante, puis H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> au contact du vin)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simple, précis, très pur et économique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dangereux pour l'utilisateur, à utiliser avec précaution</li> </ul>
<b>SOLIDE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Métabisulfite de potassium</li> <li>Poudre ou comprimés effervescents</li> <li>1 g de métabisulfite de potassium donne 0,5 g de SO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sur vendange à la parcelle</li> <li>Cuve en vidange</li> <li>Asepsie des cheminées de cuves</li> <li>Pour réajustement des petits contenants (fûts)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simple d'utilisation</li> <li>Permet sur vendange de ne sulfiter que le jus</li> <li>Pour les comprimés, dosage précis et homogénéisation efficace</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apport de potassium</li> </ul>
<b>Formes des produits œnologiques utilisés pour le sulfitage et utilisations</b>				

# Chimie du dioxyde de soufre

## Les formes de SO<sub>2</sub>

A l'air ambiant, le dioxyde de soufre se présente sous forme gazeuse. Au contact d'une solution aqueuse comme le vin, il s'hydrate en acide sulfureux H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>. Il va simultanément se dissocier et/ou réagir avec les molécules du vin pour donner différentes formes de sulfites en équilibre.

Trois formes en équilibre constituent le SO<sub>2</sub> libre : l'acide sulfureux H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, l'ion bisulfite HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> et l'ion sulfite SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Au pH du vin, généralement compris entre 2,8 et 4,2, seules les formes H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> et HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> sont présentes, HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> étant majoritaire.

En solution complexe comme le vin, HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> se combine avec les composés dits carbonylés. Certaines molécules du vin combinent les sulfites de façon quasiment irréversible (éthanal), d'autres de manière réversible (glucose, anthocyanes, acide pyruvique, ...). La proportion de sulfites combinés dépend donc de la composition du vin.

### En résumé, dans le moût ou le vin :

- SO<sub>2</sub> moléculaire = SO<sub>2</sub> actif = acide sulfureux (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>)
- SO<sub>2</sub> libre = acide sulfureux (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) + ion bisulfite (HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>) + ion sulfite (SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)
- SO<sub>2</sub> combiné = SO<sub>2</sub> combiné de façon réversible (combinaison instable) + SO<sub>2</sub> combiné de façon irréversible (combinaison stable)
- SO<sub>2</sub> total = SO<sub>2</sub> libre + SO<sub>2</sub> combiné

**La réglementation vitivinicole concerne les teneurs en SO<sub>2</sub> total contenues dans le vin.**

## Les équilibres du SO<sub>2</sub>

Si l'on considère la totalité du dioxyde de soufre présent dans le vin, la plus grande partie est sous forme combinée. Le dioxyde de soufre actif constitue une part minoritaire du dioxyde de soufre libre. L'objectif en œnologie est de favoriser le SO<sub>2</sub> libre (forme « technologiquement utile ») par rapport SO<sub>2</sub> combiné, de limiter les combinaisons stables.

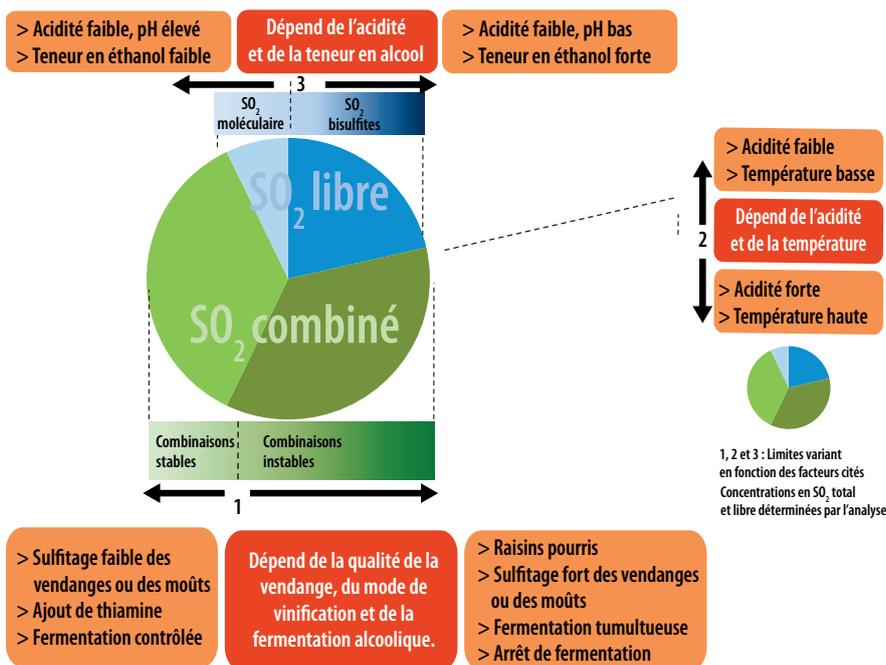
A titre d'illustration, voici quelques ordres de grandeur concernant l'impact du pH, du titre alcoométrique et de la température sur les teneurs en SO<sub>2</sub> actif dans les moûts et vins (pour une dose fixe de SO<sub>2</sub> apportée)

<b>pH</b>	- 0,10	+ 25% de SO <sub>2</sub> actif	
<b>TITRE ALCOOMÉTRIQUE VOLUMIQUE</b>	+ 1,0 % vol	+ 5% de SO <sub>2</sub> actif	
<b>TEMPÉRATURE</b>	+ 1,0°C	+ 7% de SO <sub>2</sub> actif	
	pH = 3,0	pH = 3,5	pH = 4,0
<b>SO<sub>2</sub> ACTIF/SO<sub>2</sub> LIBRE (12% VOL, 20°C)</b>	9%	3%	0%

La gestion de l'acidité (pH) est donc le levier le plus efficace pour améliorer l'efficacité technologique des sulfites ajoutés au moût ou au vin.

**Remarques :** notons qu'aux extrêmes de la gamme de pH rencontrée en œnologie, la pratique du sulfitage est contestable :

- Si le pH est trop élevé, le sulfitage s'avère souvent inopérant puisque la forme active sera très faible
- Si le pH est trop bas (par exemple le cas particulier des vins jaunes), le sulfitage sera plus difficile puisqu'il génèrera une forte quantité de SO<sub>2</sub> actif bloquant l'évolution oxydative recherchée ou une quantité importante de SO<sub>2</sub> libre perturbant l'expression olfactive du vin.



Etats chimiques des sulfites dans les moûts et les vins.

## Propriétés technologiques du dioxyde de soufre

Les sulfites ont des propriétés antioxydantes, antioxydantes, antimicrobiennes. Ils ont également des actions dissolvantes et décolorantes. Enfin, ils impactent l'odeur et le goût. Les propriétés fluctuent

en fonction de la forme chimique considérée (Tableau ci-dessous). L'objectif œnologique consiste à favoriser la présence de  $\text{SO}_2$  moléculaire au détriment des autres formes.

PROPRIÉTÉS / ACTIONS	$\text{SO}_2$ ACTIF	$\text{SO}_2$ LIBRE	$\text{SO}_2$ COMBINÉ
ANTILEVURIENNES	+	faible	0
ANTIBACTÉRIENNES	+	faible	faible
ANTIOXYDANTES	+	+	0
ANTIOXYDASIQUES	+	+	0
NEUTRALISANT DE L'ÉTHANAL	+	+	+
RÔLE GUSTATIF PROPRE AU $\text{SO}_2$	Odeur piquante, goût de $\text{SO}_2$	Pas d'odeur, goût salé, amer	Pas d'odeur, pas de goût
<b>Propriétés technologiques des différentes formes de sulfites dans le moût ou le vin</b>			

## Pour approfondir

### Revue bibliographique des propriétés antioxydantes des sulfites

L'oxydation des moûts est causée principalement par des polyphénol oxydases (PPO) : tyrosinase du raisin et laccase produite par *Botrytis cinerea*.

Même si la laccase a un spectre d'action beaucoup plus large (Flanzly et al., 1998), les principaux substrats communs de ces enzymes sont les esters hydroxycinnamoyltartriques (HCTA) et principalement les acides caféoyltartrique et p-coumaroyltartrique (appelés aussi acides hydroxycinnamiques, acides cafatartrique et coutartrique) qui sont oxydés en présence d'oxygène dissous en quinones correspondantes (Cheyrier et al., 1986).

Ces réactions sont réversibles grâce à l'oxydation couplée de l'acide ascorbique, du  $\text{SO}_2$  et d'autres composés phénoliques comme les flavanols.

Les HCTA reformés peuvent être oxydés à nouveau par les PPO, propageant ainsi la chaîne d'oxydation. Les quinones générées par voie enzymatique ou par le mécanisme d'oxydation couplée sont très instables. Elles ne s'accumulent pas dans le milieu et réagissent avec de nombreux autres composés, en particulier avec les composés phénoliques sous la forme réduite et les composés à fonction thiol ; cette dernière propriété est à l'origine notamment du GRP (Grape Reaction Product) par réaction avec le glutathion du raisin.

Ces différentes réactions initiées par voie enzymatique conduisent rapidement à une grande diversité de produits, la couleur du moût se modifiant par brunissement avec une altération fréquente de sa limpidité et de son arôme.

Ces réactions enzymatiques se produisent au moment du foulage et du pressurage des baies quand les substrats (provenant majoritairement de la pulpe) sont mis en contact avec les enzymes en présence d'oxygène atmosphérique.

Le  $\text{SO}_2$ , sous sa forme hydrogénosulfite ou bisulfite ( $\text{HSO}_3^-$ ) est capable d'inhiber totalement la tyrosinase ; la laccase est plus résistante (Dubernet, 1974). Toutefois, Sire et al. (2016) ont montré qu'il fallait attendre 30 mn après sulfitage sur moût avant de constater une inhibition maximale de l'activité tyrosinase et que l'inhibition totale n'est obtenue que pour des teneurs supérieures à 40 mg/L. Ils ont également constaté qu'il pouvait rester de l'activité tyrosinase à la fin de la FA sans ajout de sulfites sur moût. Quant à la laccase, Li et al. (2008) reportent qu'elle pouvait être encore présente dans le vin fini.

## Revue bibliographique des propriétés antioxydantes des sulfites

Dans le vin, l'oxydation chimique prévaut et les vitesses de réactions sont beaucoup plus lentes que pour les réactions enzymatiques dans le moût. À partir de l'oxygène moléculaire dissous dans le vin, les formes activées de l'O<sub>2</sub> sont générées par catalyse des métaux de transition, une chaîne de réactions radicalaires s'enclenche et aboutit à la formation d'oxydants puissants : le peroxyde d'hydrogène H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> puis le radical hydroperoxyde HO-O•. Les radicaux hydroperoxyde oxydent les orthodihydroxyphénols en leurs quinones correspondantes, pendant que l'oxygène est réduit en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Une partie de ces réactions est catalysée par l'ion Fe<sup>2+</sup> avec l'assistance de l'ion Cu<sup>+</sup>.

Au pH du vin, la réaction directe entre l'oxygène et le SO<sub>2</sub> moléculaire est extrêmement lente et négligeable (Waterhouse and Laurie, 2006). C'est l'ion bisulfite qui réagit avec les produits de l'oxydation du vin.

L'oxydation du bisulfite en sulfate peut être associée à la réduction des orthoquinones en leurs orthodihydroxyphénols correspondants (Danilewicz, 2016) et à l'élimination (la réduction en H<sub>2</sub>O) du peroxyde d'hydrogène, bloquant ainsi l'oxydation de l'éthanol en éthanal via la réaction de Fenton qui aboutit à la formation de radical hydroxyle HO•, oxydant encore plus puissant que le peroxyde d'hydrogène.

Dans des conditions idéales de protection par les sulfites, le ratio moléculaire SO<sub>2</sub>:O<sub>2</sub> de la réaction est 2:1 (Danilewicz, 2016). Une mole de SO<sub>2</sub> réagit avec une mole de peroxyde d'hydrogène et la seconde avec une mole de quinone, correspondant à une consommation théorique maximale de 4 mg SO<sub>2</sub>/mg O<sub>2</sub> consommé. Lors de la conservation du vin, plus le ratio massique (SO<sub>2</sub> libre ou total consommé/O<sub>2</sub> total consommé) est inférieur à 4, plus l'oxydation des autres constituants du vin est importante (Danilewicz, 2016 ; Waterhouse et al.,

2016 ; Han et al., 2014). Pascal et al. (2019) ont obtenu une perte moyenne en SO<sub>2</sub> libre de 2,5 mg pour 1 mg d'O<sub>2</sub> consommé sur 120 vins embouteillés pendant 1 à 2 ans.

Un ratio massique supérieur à 4 a été observé surtout pour des vins rouges riches en tanins après plus d'un an en bouteille, mettant en évidence des réactions de consommation du SO<sub>2</sub> indépendantes de l'oxygène (Vidal et al., 2017 ; Gambuti et al., 2017, Ugliano et al., 2012).

Quand la teneur en SO<sub>2</sub> libre tombe à quelques milligrammes/L, les adduits faiblement combinés au SO<sub>2</sub> peuvent se dissocier et maintenir une teneur minimale en SO<sub>2</sub> libre. Ceci entraînerait une baisse sensible de la teneur en SO<sub>2</sub> combiné et une grande partie des oxydants générés réagiraient avec d'autres constituants du vin, conduisant à une poursuite de l'oxydation (Danilewicz and Standing, 2018 ; Waterhouse et al., 2016).

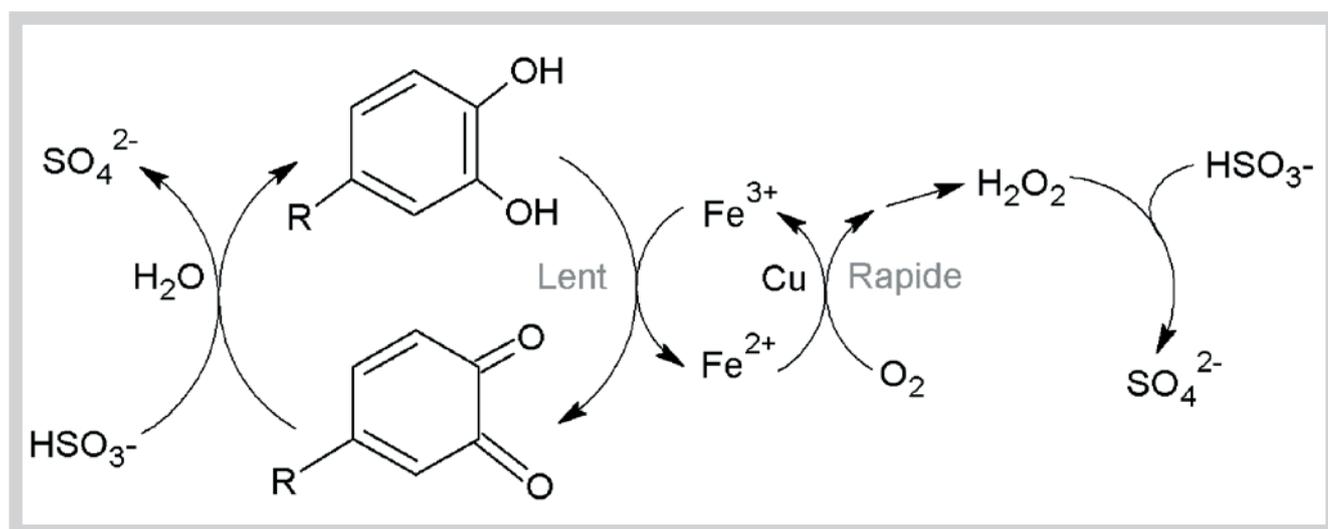


Schéma du mécanisme de l'oxydation des catéchols catalysée par le fer. Réaction du sulfite avec le peroxyde d'hydrogène et les quinones avec un ratio molaire SO<sub>2</sub>: O<sub>2</sub> de 2:1 (Danilewicz, 2016).

### Revue bibliographique des propriétés antimicrobiennes des sulfites

Le dioxyde de soufre est globalement plus actif sur les bactéries du vin que sur les levures. Par ailleurs, la sensibilité au sein d'une même espèce, est dépendante de la souche considérée.

Le sulfitage préfermentaire a un effet sur les populations microbiennes, plus important en vinification en blanc qu'en rouge, et se traduit par un retard dans le démarrage de la fermentation alcoolique (Takahashi et al., 2014). Plus particulièrement dans le cas de la vinification en blanc, l'addition de 50 mg/L de sulfites est ainsi suffisante pour inhiber la plupart des levures *non-Saccharomyces* du moût, tout en sélectionnant *Saccharomyces cerevisiae* (Henick-Kling et al., 1998). La récolte mécanique, l'état sanitaire, les températures élevées et le choix d'allonger la phase préfermentaire (stabulation liquide, macération) peuvent imposer

un niveau de sulfitage plus conséquent. Un effet négatif du sulfitage sur les populations maximales de levures du genre *Hanseniaspora*, suivi de leur déclin plus rapide lors de la fermentation, a été mis en évidence (Andorra et al., 2008 ; Albertin et al., 2014 ; Takahashi et al., 2014).

Comme pour *Zygosaccharomyces bailii* (Divol et al., 2006 ; Nardi et al., 2010), certaines souches de *Saccharomyces cerevisiae* sont relativement tolérantes aux sulfites. En outre, il existe des souches de *Brettanomyces bruxellensis* tolérantes et résistantes aux sulfites et capables de réaliser une croissance aux doses de SO<sub>2</sub> moléculaire préconisées pour prévenir l'altération des vins (0,6 mg/L) (Curtin et al., 2012 ; Vigentini et al., 2008 ; Albertin et al., 2017).

L'effet inhibiteur du SO<sub>2</sub> sur les populations de bactéries lactiques est rapporté par de nombreux auteurs (Carr et al., 1976 ; Lafon-Lafourcade et al., 1983 ; Andorra et al., 2008 ; Takahashi et al., 2014). Contrairement aux levures, la forme combinée présente également un effet inhibiteur vis à vis des bactéries lactiques, jouant un rôle de protection efficace en retardant leur intervention jusqu'à l'achèvement de la fermentation alcoolique. L'espèce responsable de la fermentation malolactique, *Oenococcus oeni*, est particulièrement sensible aux sulfites. Ainsi, l'utilisation du SO<sub>2</sub> en phase préfermentaire en quantité trop importante peut engendrer d'une part des difficultés de démarrage et de gestion de la fermentation malolactique, qu'elle soit spontanée ou avec ensemencement, d'autre part la formation par la levure d'éthanal à fort pouvoir combinant.



# L'emploi du dioxyde de soufre

## Détermination des doses à apporter

**Sur moût ou sur vendange**, la dose est ajustée en fonction des caractéristiques du chantier de récolte (vendange manuelle ou mécanique, délais de transport, ...), de la vendange (état sanitaire, température, niveau d'acidité et plus particulièrement pH), de la cave (niveau d'hygiène du matériel). Ainsi, les doses classiquement apportées au stade préfermentaire oscillent entre 3 et 6 g/hL. L'apport s'effectue généralement au plus près de la rupture de l'intégrité des baies (dès la benne en récolte mécanique, au foulage ou pressurage en récolte manuelle). Il peut être fractionné pour couvrir l'ensemble des opérations préfermentaires.

**Sur vin**, les quantités apportées sont habituellement choisies de manière à atteindre une quantité de SO<sub>2</sub> actif jugée nécessaire pour l'objectif technologique souhaité. La valeur cible usuelle pour contrôler les micro-organismes est alors comprise entre 0,35 et 0,60 mg/L de

SO<sub>2</sub> actif. Il est couramment admis que des quantités plus faibles sont suffisantes pour protéger le vin de l'oxydation. Mais outre la composition physicochimique du vin, plusieurs paramètres sont à considérer pour ajuster au plus juste la dose de SO<sub>2</sub> cible : le risque technologique (oxydation ? altération microbiologique ?), les quantités de gaz dissous, la présence de lies, la fréquence des suivis analytiques et microbiologiques, ...

L'IFV met à disposition un outil de calcul en ligne pour l'estimation du SO<sub>2</sub> actif sur <https://www.vignevin-occitanie.com/outils-en-ligne/>

En pratique, considérant qu'en moyenne pour les vins secs un tiers du SO<sub>2</sub> apporté va se combiner, la dose de SO<sub>2</sub> à apporter est déterminée selon le calcul suivant :

SO<sub>2</sub> à ajouter = (SO<sub>2</sub> libre souhaité - SO<sub>2</sub> libre présent) X 1,5

Dans le cas des vins présentant un pouvoir combinant variable (riches en sucres résiduels, issus de pourriture noble ou de

vendanges altérées), il convient d'effectuer au préalable un test de combinaison, lequel permet d'apprécier le niveau de combinaison spécifique du vin à traiter.

Dans tous les cas, une analyse quelques jours après le sulfitage est conseillée pour vérifier les teneurs en SO<sub>2</sub> libre effectives dans le vin.

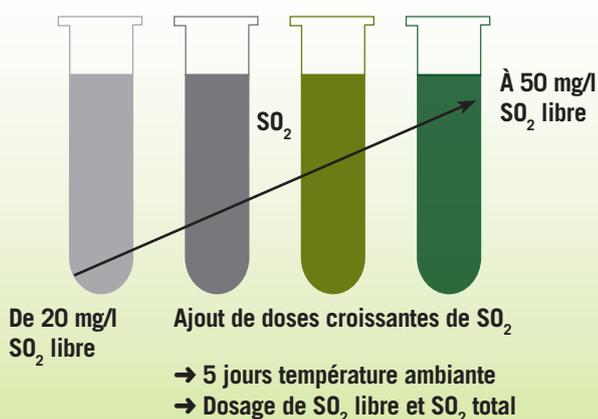
## Contrôle analytique des teneurs en sulfites dans les vins

Des contrôles réguliers des teneurs en SO<sub>2</sub> contenues dans les vins s'imposent pour assurer une utilisation rationnelle et parcimonieuse de cet additif.

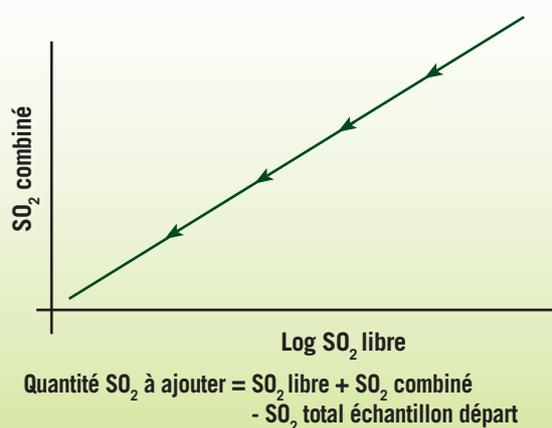
Les incertitudes liées à la mesure étant loin d'être négligeables, l'analyse par la méthode de référence, dite de Franz Paul, est à privilégier lorsqu'un résultat précis est attendu, que la mesure concerne de faibles quantités de sulfites ou que le vin analysé a un pH bas (source OIV, méthode Franz Paul : répétabilité : 1 à 6 mg/L ; reproductibilité : 9 à 15 mg/L).

## TEST DE COMBINAISON

### PRINCIPE DE LA MÉTHODE



### CALCUL DE LA DROITE DE COMBINAISON



## Réglementation

### Teneurs maximales autorisées

#### Réglementation vitivinicole

Les quantités de sulfites autorisées dans les vins mis à la consommation sont fixées par la Commission Européenne et prennent en compte les données techniques et toxicologiques disponibles (notamment les recommandations de l'OIV).

LIMITES AUTORISÉES D'ANHYDRIDE SULFUREUX DANS LES VINS EUROPÉENS (RÈGLEMENT (CE) N° 934/2019, ANNEXE I B)	LIMITES MAXIMALES DE SO <sub>2</sub> TOTAL DU VIN
Vins rouges	150 mg/L
Vins blancs et rosés	200 mg/L
Crémants	150 mg/L
Mousseux	235 mg/L
Mousseux de qualité	185 mg/L
Vins rouges (glucose + fructose > 5 g/L)	200 mg/L
Vins blancs et rosés (glucose + fructose > 5g/L)	250 mg/L
Vins de liqueur (sucre < 5 g/L)	150 mg/L
Vins de liqueur (sucre > 5 g/L)	200 mg/L

#### Vins biologiques

Conformément aux dispositions prévues pour la production de vin biologique, incluses dans le règlement relatif à l'agriculture biologique R(CE) n° 834/2007, les valeurs limites sont inférieures à celles des vins conventionnels de 30 mg/L (pour les vins contenant plus de 2 g/L glucose + fructose) à 50 mg/L (pour les autres vins). Les seuls produits autorisés sont le dioxyde de soufre, le bisulfite de potassium ou le métabisulfite de potassium.

**Attention : les chartes privées ou réglementations de certains pays peuvent être plus restrictives.**

### Obligations en matière d'étiquetage

Le règlement (UE) n°1169/2011 impose l'étiquetage obligatoire des substances contenues dans les aliments susceptibles de provoquer des allergies ou des intolérances. A ce titre, lorsque leur teneur est supérieure à 10 mg/L (exprimée en SO<sub>2</sub> total), l'étiquetage des sulfites dans les vins est obligatoire depuis 2005. Pour le secteur vitivinicole, le Règlement délégué (UE) 2019/33 complète le Règlement 1308/2013 et précise les mentions et les modalités d'étiquetage. Tous les contenants concernés doivent porter la mention « contient des sulfites » ou « contient de l'anhydride sulfureux » ou encore « contient du dioxyde de soufre ». La France a également admis l'utilisation de la mention « contains sulphites » ainsi que celle de pictogrammes réglementaires. Enfin, l'opérateur a le choix quant à sa disposition sur l'étiquetage (étiquette, contre étiquette).



## Sécurité

### Pour le consommateur

Les sulfites présentent une toxicité à long terme au-delà d'une certaine dose. Dans son avis scientifique de 2016 portant sur les sulfites dans l'alimentation, l'Agence Européenne de Sécurité Alimentaire (EFSA) conclut que la dose journalière admissible (DJA) actuelle de 0,7 mg d'équivalent  $\text{SO}_2$  / kg de poids corporel par jour reste adaptée (soit 49 mg de sulfites pour un adulte de 70kg, c'est-à-dire approximativement un demi-litre de vin contenant 100 mg/L de sulfites totaux). Cependant, cette limite doit être considérée comme temporaire en attendant des données complémentaires. L'exposition estimée à ces composés (tous aliments confondus) est actuellement plus élevée que la DJA et les différents scénarios d'exposition étudiés dans le rapport confirment que le vin fait partie des principaux contributeurs alimentaires chez les personnes adultes.

Par ailleurs, il existe des cas de consommateurs hypersensibles, chez qui l'exposition au  $\text{SO}_2$  peut provoquer notamment de graves crises d'asthme ou d'allergie.

### Pour l'utilisateur

Chez les utilisateurs de produits œnologiques, l'exposition s'opère par inhalation de dioxyde de soufre gazeux. Il peut provoquer une irritation des yeux et des voies respiratoires, le risque étant accru pour les individus asthmatiques. Il est donc préconisé de l'utiliser dans des lieux bien ventilés et de porter des gants et des vêtements de protection ainsi que des protections des yeux et du visage. Pour les formes les plus concentrées ou des utilisations prolongées le port d'un masque de protection est également recommandé. Consulter les mentions de dangers et conseils de prudence des fiches de données de sécurité.



### Lutter contre l'effet de l'oxygène

Différents produits œnologiques ou procédés sont disponibles en alternatives à l'emploi du SO<sub>2</sub> en vue de protéger le moût ou le vin de l'oxydation.

PRATIQUE	UTILISATION	CLASSEMENT	PRINCIPE
<b>ACIDE ASCORBIQUE</b>		Additif	Puissant anti-oxydant, il réagit très rapidement avec l'oxygène
<b>TANINS ŒNOLOGIQUES</b>		Additif	Action anti-oxydante directe et formation de complexe avec le fer
<b>LEVURES INACTIVÉES AYANT DES NIVEAUX GARANTIS DE GLUTATHION</b>		Auxiliaire	Limite les phénomènes d'oxydation dans les moûts et les vins
<b>GAZ NEUTRES</b>		Additifs (considérés comme des gaz d'emballage)	Inertage et protection contre l'oxygène
<b>CONTACTEUR MEMBRANAIRE</b>		Procédé	Gestion des gaz dissous
<b>HYPEROXYGÉNATION</b>		Procédé	Oxydation préalable avant fermentation des phénols oxydables
<b>LEVURES SÈCHES ACTIVES (<i>Saccharomyces</i> ou <i>Non-Saccharomyces</i>)</b>		Auxiliaire	Consommation d'oxygène
<b>ACIDE CITRIQUE</b>		Additif	Formation de complexe soluble avec le fer
<b>FERROCYANURE DE POTASSIUM</b>		Auxiliaire	Élimination par précipitation du fer et du cuivre + collage
<b>PHYTATE DE CALCIUM</b>		Auxiliaire	Agent complexant du fer
<b>CASÉINES ET CASÉINATE DE POTASSIUM</b>		Auxiliaire	Élimination des polyphénols (préventif et curatif)
<b>PROTÉINES VÉGÉTALES (ISSUES DE POMMES DE TERRE OU DE POIS)</b>		Auxiliaire	Élimination des polyphénols (préventif et curatif)
<b>CHITOSANE</b>		Auxiliaire	Élimination des polyphénols (préventif et curatif)
<b>CHITINE-GLUCANE</b>		Auxiliaire	Élimination des polyphénols (préventif et curatif)
<b>EXTRAITS PROTÉIQUES DE LEVURES</b>		Auxiliaire	Élimination des polyphénols (préventif et curatif)
<b>POLYVINYLPOLYPYRROLIDONE (PVPP)</b>		Auxiliaire	Élimination des polyphénols (préventif et curatif)
<b>POLYVINYLPYRROLIDONE POLYVINYLMIDAZOLE (PVP-PVI)</b>		Auxiliaire	Élimination des polyphénols (préventif et curatif) + chélation du fer et du cuivre

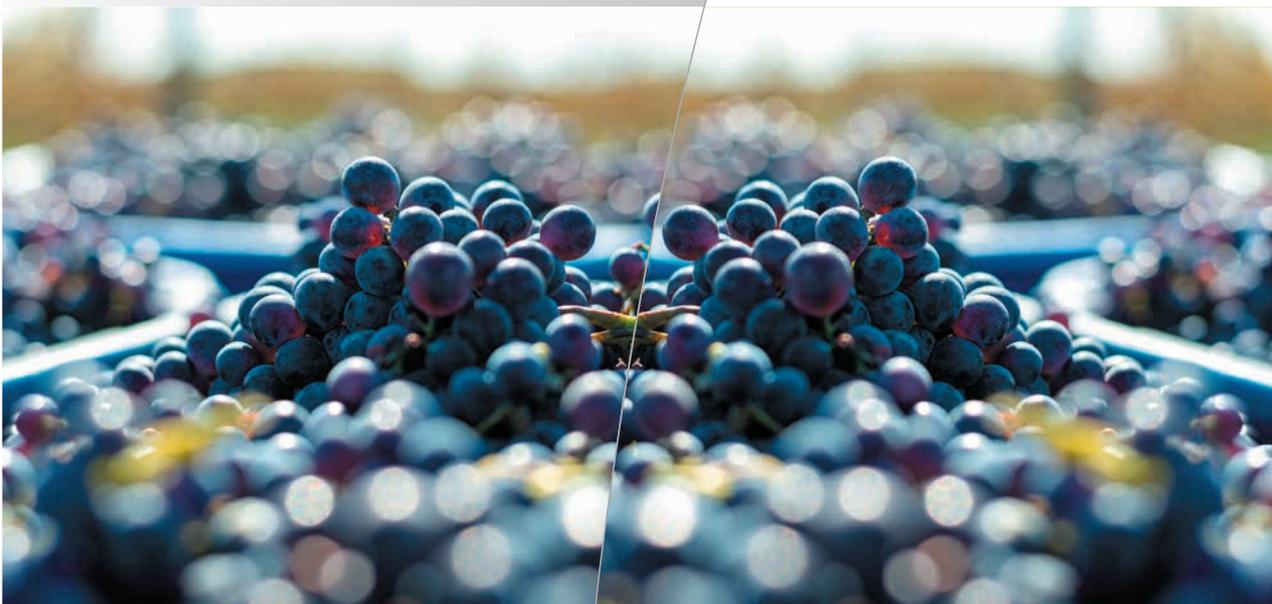
Pour en savoir plus : Outil « Choix des pratiques œnologiques » : <https://www.vignevin.com/pratiques-oenol/>

## Focus Glutathion

Le glutathion (GSH), tripeptide soufré, est un composé naturellement présent dans les végétaux, et en particulier dans les baies de raisins. Les teneurs en GSH dans les moûts (quelques à plusieurs dizaines de mg/L) varient selon les cépages et les conditions de culture de la vigne et en particulier son alimentation azotée. Les teneurs résiduelles dans les vins dépendent de la technologie de transformation du raisin, et plus particulièrement de l'exposition du moût à l'oxygène en phase préfermentaire (notamment l'extraction des jus), des conditions fermentaires et des modalités d'élevage (présence ou pas de lies).

Son implication dans les mécanismes d'oxydation enzymatique des moûts, à savoir leur ralentissement, est clairement établi. Plus récemment, son rôle antioxydant pour prévenir le vieillissement prématuré des vins blancs secs a été démontré, et tout particulièrement pour préserver l'arôme fruité lié à la présence de constituants aromatiques appartenant à la famille des thiols variétaux.

En conséquence, l'OIV a adopté une résolution admettant son emploi sur moût ou sur vin à la dose de 20 mg/L (oeno 445/2015 et 446/2015). L'utilisation de dérivés de levures à niveau garanti en glutathion est autorisée par la réglementation vitivinicole, contrairement au glutathion pur.



Emploi des gaz neutres

1. LES GAZ NEUTRES EN ŒNOLOGIE (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Ar, mélanges)

GAZ	PROPRIÉTÉS	UTILISATION
<b>AZOTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaz neutre, incolore, inodore, sans saveur et non inflammable</li> <li>• Pureté min. ≥ 99 %, [O<sub>2</sub>] max. &lt; 10 mL/L</li> <li>• Production sur place possible par générateur à partir d'air comprimé pour utilisations plus intenses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus efficace que CO<sub>2</sub> pour désoxygéner vins, car beaucoup moins soluble</li> <li>• Utilisable en vendange, à partir de l'extraction des jus, pour inerte les circuits ou désoxygéner. Très utile pendant élevage, pour inerte une vidange par exemple, et jusqu'à mise en bouteille, mais le mélange N<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> est préférable, pour ne pas trop désorber le CO<sub>2</sub> présent dans le vin</li> <li>• Décarbonation des vins tranquilles</li> </ul>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaz neutre, incolore, inodore</li> <li>• Besoin de 2 à 3 fois le volume correspondant au volume de ciel gazeux à inerte, au lieu de 4 à 7 fois pour N<sub>2</sub>, car plus lourd que l'air</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Privilégier CO<sub>2</sub> pour créer un matelas gazeux temporaire au-dessus du liquide. À réserver aux espaces clos, confinés (manches, circuits, pressoirs, petites cuves...), ou pour inertage de surface</li> <li>• Utilisation de sticks ou pellets pour inertage. En se sublimant, ils génèrent un matelas gazeux en surface du liquide ou en protection de vendange, car libération progressive du CO<sub>2</sub></li> <li>• Pour remonter la teneur en CO<sub>2</sub> des vins tranquilles au conditionnement</li> <li>• Considéré comme auxiliaire technologique si utilisé pour l'inertage et comme additif si utilisé pour enrichir les vins en CO<sub>2</sub> au conditionnement (Règlement UE n°934/2019)</li> </ul>
<b>ARGON</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaz neutre, incolore, inodore et non inflammable</li> <li>• Combine avantages des 2 autres gaz, car peu miscible avec liquides comme N<sub>2</sub> et lourd comme CO<sub>2</sub>, mais plus cher que les 2 autres gaz. Besoin &lt; 2 fois le volume correspondant au volume de ciel gazeux à inerte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surtout utilisé en gaz d'inertage ou en désoxygénation en remplacement N<sub>2</sub> avec moins d'impact sur teneur en CO<sub>2</sub> dissous.</li> <li>• Utilisé pur ou en mélange avec N<sub>2</sub> ou CO<sub>2</sub></li> <li>• Autorisé uniquement en inertage pour les vins biologiques mais pas pour tous les autres référentiels (NOP, DEMETER ...)</li> </ul>



## 2. LES OUTILS DE GESTION DES GAZ DISSOUS

INERTAGE STATIQUE		
OUTIL	PRINCIPE	UTILISATION
TROMBLON CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Branché à une bouteille de CO<sub>2</sub></li> <li>• Production de neige carbonique par détente directe de CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protéger vendange des oxydations durant transport, dans conquêts, pressoirs et cuves de réception</li> </ul>
PELLETISEUR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refroidit CO<sub>2</sub> liquide jusqu'à l'état de neige carbonique, la comprime puis extrude soit des granulés (pellets) soit des bâtonnets (sticks) de glace de CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inerter une cuve vide avant remplissage</li> </ul>
DIFFUSEUR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Positionné dans une cuve, à l'extrémité d'un flexible raccordé au détendeur d'une bouteille de CO<sub>2</sub>. Il peut flotter à la surface des moûts ou des vins ou être suspendu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inerter une vidange de cuve</li> </ul>
INSTALLATION FIXE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprend 1 stockage de gaz neutre (bouteille de gaz ou générateur d'azote), 1 équipement de détente très basse pression et des canalisations de distribution de gaz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inerter plusieurs cuves en vidange en même temps</li> </ul>

DÉSOXYGÉNATION ET AJUSTEMENT CO <sub>2</sub> DISSOUS		
OUTIL	PRINCIPE	UTILISATIONS
INJECTEUR FRITTÉ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raccord en inox équipé d'un fritté de 2 à 20 µm de porosité pour diffuser le gaz sous forme de microbulles dans la masse du vin au contact. Equipé d'un débitmètre pour régler le débit de gaz d'injection</li> <li>• La pression du gaz doit être maintenue légèrement supérieure à la pression du liquide dans la canalisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selon la nature du gaz injecté, il permet de désoxygéner, décarboniquer ou carboniquer les vins voire désoxygéner avec maintien de la teneur en CO<sub>2</sub></li> <li>• Montage en ligne au refoulement pompe, filtre, électrodialyseur ou autre appareil de traitement des vins</li> </ul>
CARBOFRESH (TECHNICA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Injecteur qui permet d'atteindre une teneur cible en CO<sub>2</sub> en carbonication, grâce notamment à une buse calibrée d'admission du gaz correspondant à une plage de débits donnée et le réglage de la pression sur la bouteille de gaz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carbonication des vins</li> <li>• Si injection N<sub>2</sub> à la place CO<sub>2</sub>, l'appareil permet de décarboniquer et désoxygéner le vin</li> </ul>
EVO 1000 (PARSEC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcule la quantité en N<sub>2</sub> ou CO<sub>2</sub> à introduire par injecteur fritté afin d'atteindre une teneur cible en O<sub>2</sub> ou en CO<sub>2</sub>. L'EVO 1000 Dual est équipé de 2 injecteurs ce qui permet soit de doubler le débit de vin à traiter soit de désoxygéner et carboniquer en parallèle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Désoxygénation ou/et ajustement CO<sub>2</sub> précis des vins</li> <li>• Utilisé soit en recirculation sur une cuve, soit au cours d'un transfert</li> </ul>
CONTACTEUR MEMBRANAIRE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet, notamment, mise en œuvre des séparations liquide-gaz</li> <li>• Le principal composant est un assemblage tissé de fibres creuses hydrophobes. Seules les molécules gazeuses comme l'O<sub>2</sub>, l'N<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> peuvent traverser la barrière. Le caractère hydrophobe de la membrane confère le rôle d'interface entre la phase liquide qui circule à l'extérieur des fibres creuses (shell side) et la phase gazeuse qui circule en sens inverse à l'intérieur des fibres creuses (lumen side), empêchant le mélange des phases</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Désoxygénation et ajustement CO<sub>2</sub> précis des vins au cours d'un seul passage</li> <li>• Installé en amont d'une ligne d'embouteillage, en recirculation sur une cuve ou au cours d'un transfert afin de régler les concentrations en gaz du vin avant stockage ou mise en bouteille</li> </ul>

PROTECTION CONTRE O <sub>2</sub> ATMOSPHÉRIQUE • ÉQUIPEMENTS DE CONDITIONNEMENT	
ÉTAPE	ÉQUIPEMENTS
<b>INERTEUSE TIREUSE</b>	<p><b>Objectif :</b> diminuer significativement la teneur en O<sub>2</sub> dissous du vin</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inerteuse intégrée dans monobloc. La bouteille arrive sous le bec de l'inerteuse, une pompe à vide retire jusqu'à 90 % de l'air contenu avant injection de gaz neutre en légère surpression</li> <li>• Monoblocs avec inertage cuve annulaire de la tireuse et remontée du gaz d'inertage introduit par l'inerteuse vers la cuve annulaire au fur et à mesure du remplissage de la bouteille, protégeant ainsi le liquide au moment où l'échange avec l'atmosphère peut être le plus fort car le vin coule en couche mince sur les parois de la bouteille</li> <li>• Certains monoblocs récents intègrent la fonction inerteuse (aspiration d'air et injection de gaz neutre) dans le bec de tirage</li> </ul>
<b>BOUCHAGE CAPSULAGE</b>	<p><b>Objectif :</b> diminuer significativement la quantité en O<sub>2</sub> de l'espace de tête</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Boucheuse avec couplage vide et injection de gaz neutre</li> <li>• Tunnel placé entre tireuse et boucheuse où le goulot des bouteilles est balayé au gaz neutre</li> <li>• Injection N<sub>2</sub> liquide dans l'espace de tête de la bouteille à vis juste avant pose de la capsule</li> <li>• Système WQS Nomaline HS 6000 crée un vortex au moment diffusion gaz neutre dans goulot et capsule juste avant sa pose sur la bouteille</li> <li>• Utiliser obturateurs à perméabilité O<sub>2</sub> adaptée au profil sensoriel du vin (Oxygen Transmission Rate) et vérifier l'hétérogénéité</li> </ul>
<b>BAG IN BOX</b>	<p><b>Objectif :</b> diminuer la teneur en O<sub>2</sub> total du vin conditionné</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une cuve tampon sous pression de gaz neutre entre cuve de tirage et tireuse. La pression du vin à la sortie de cette cuve sera constante et régulée en tenant compte des variations éventuelles de niveau de vin, limitant ainsi les turbulences et le contact avec l'O<sub>2</sub> gazeux piégé dans le circuit</li> <li>• Trouver le bon équilibre entre la diminution du volume de l'espace de tête afin de moins piéger d'O<sub>2</sub> dans le BIB et le volume minimum nécessaire pour éviter un débordement ou des éclaboussures au remplissage de la poche</li> <li>• Injection N<sub>2</sub> après tirage dans goulot et robinet juste avant obturation</li> <li>• Vérifier résistance poche au flexcracking (microfissures dues à des plissements, des torsions subis par le film) et sa perméabilité O<sub>2</sub> (OTR)</li> </ul>

### Utilisation Bio (Règlement UE n°934/2019) :

**Autorisé :** techniques d'inertage au gaz neutre (N<sub>2</sub>/Ar/CO<sub>2</sub>), de barbotage ou injection N<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> pour désoxygéner.

**Non autorisé :** contacteurs membranaires et barbotage-injection d'Ar.



Bouchage-capsulage : Buse Nomaline HS 6000.

## Lutter contre les micro-organismes indésirables

Différents produits œnologiques ou procédés sont disponibles en alternatives à l'emploi du SO<sub>2</sub> en vue de contrôler l'action des populations de micro-organismes présentes dans le moût ou le vin.

PRATIQUE	UTILISATION	CLASSEMENT	PRINCIPE
<b>LYSOZYME</b>		Additif	Destruction des bactéries lactiques
<b>SORBATE DE POTASSIUM</b>		Additif	Fongistatique, utilisé surtout pour les vins sucrés en association avec le SO <sub>2</sub>
<b>DICARBONATE DE DIMÉTHYLE (DMDC)</b>		Additif	Anti-microbien – action sans rémanence
<b>CHITOSANE</b>		Auxiliaire	Élimination des <i>Brettanomyces</i>
<b>BIOPROTECTION</b> (levures ou bactéries sélectionnées)		Auxiliaire	Utilisation de micro-organismes pour maîtriser le développement des flores indigènes indésirables et pour consommer l'oxygène dissous
<b>FILTRATION FRONTALE OU TANGENTIELLE</b>		Procédé	Élimination des micro-organismes, filtration stérile (en bio seuil de coupure > 0,2µm)
<b>CENTRIFUGATION</b>		Procédé	Élimination des micro-organismes
<b>TRAITEMENTS THERMIQUES</b> (flash pasteurisation, pasteurisation, thermolisation)		Procédé	Élimination des micro-organismes (en bio T° < 70°C actuellement et à partir du 1/01/2022 < 75°C)
<b>CHAMPS ÉLECTRIQUES PULSÉS CEP</b>		Non autorisé en 2021	Élimination des micro-organismes, par électroporation
<b>UV-C</b>		Non autorisé en 2021	Élimination des micro-organismes par exposition à un rayonnement (254 nm) ou stérilisation à froid des moûts et des vins

**Pour en savoir plus :** Outil « Choix des pratiques œnologiques » : <https://www.vignevin.com/pratiques-oenol/>

**Remarque :** l'efficacité des pratiques exposées dépend du nombre de cellules à éliminer et/ou de l'espèce à traiter et/ou de la souche présente.



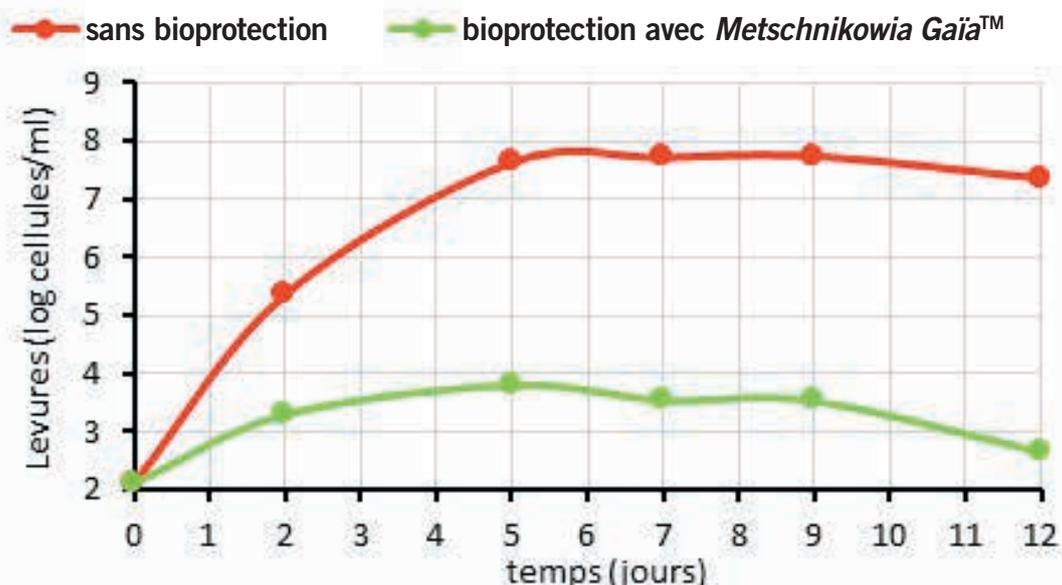
### Focus Bioprotection

La bioprotection en phase pré-fermentaire consiste à inoculer précocement sur le raisin ou dans le moût, une levure capable de s'implanter rapidement, sans fermenter ni produire d'acide acétique. Des biomasses sous forme de levures sèches actives sont aujourd'hui proposées pour la bioprotection de la phase pré-fermentaire en l'absence ou en présence de faible dose de sulfites. Les effets recherchés sont les suivants :

- En premier lieu, l'inhibition des micro-organismes indésirables du raisin présente un intérêt, notamment en vinification en rouge pour la maîtrise de l'acidité volatile.
- La consommation de l'oxygène du moût en quelques heures présente un intérêt, notamment en vinification en blanc et rosé, pour la maîtrise des phénomènes d'oxydation.

Par exemple, la bioprotection avec une souche adaptée de *Metschnikowia fructicola* (sélection IFV) limite efficacement la croissance d'une levure bien présente sur raisins, *Hanseniaspora uvarum*, et évite ainsi l'élévation de l'acidité volatile.

La bioprotection peut aussi s'envisager au cours de l'élevage. Dans ce cadre, l'emploi d'une préparation bactérienne sélectionnée pour la réalisation de la fermentation malolactique et son maintien en élevage, joue un rôle de bioprotection en annulant une contamination accidentelle par *Brettanomyces*. Cet effet est insuffisant pour neutraliser une population déjà développée, d'où l'importance d'un positionnement suffisamment précoce de la fermentation malolactique. Cette opportunité s'envisage pour des vins parfaitement secs avec une température fraîche de l'ordre de 15°C, et le suivi de l'acidité volatile en indique la limite.



Evolution des levures *Hanseniaspora uvarum* dans un moût à 13°C au laboratoire.  
Source : IFV Pôle Bourgogne-Beaujolais-Jura-Savoie.

# Améliorer l'efficacité du SO<sub>2</sub> ajouté

Les produits œnologiques ou procédés suivants visent à créer les conditions permettant d'améliorer l'efficacité du SO<sub>2</sub> ajouté.

LUTTER CONTRE LES MICRO-ORGANISMES INDÉSIRABLES			
PRATIQUE	UTILISATION	CLASSEMENT	PRINCIPE
THIAMINE		Additif	Diminue la production de composés combinant le SO <sub>2</sub>
ACIDE TARTRIQUE		Additif	Diminue le pH et augmente la part de SO <sub>2</sub> actif
ACIDE MALIQUE		Additif	Diminue le pH et augmente la part de SO <sub>2</sub> actif
ACIDE LACTIQUE		Additif	Diminue le pH et augmente la part de SO <sub>2</sub> actif
TRAITEMENT ÉLECTROMEMBRANAIRE CATIONIQUE		Procédé	Diminue le pH et augmente la part de SO <sub>2</sub> actif
ÉCHANGEURS DE CATIONS POUR L'ACIDIFICATION		Procédé	Diminue le pH et augmente la part de SO <sub>2</sub> actif
ACIDE FUMARIQUE		Non autorisé en 2021 (admis OIV, oeno 581A-2021)	Blocage (ou décalage) de la fermentation malolactique

**Pour en savoir plus :** Outil « Choix des pratiques œnologiques » : <https://www.vignevin.com/pratiques-oeno/>

## Les procédés innovants

### Les UV –C

La technologie de stérilisation à froid des moûts et des vins par rayonnement UV-C consiste à exposer le vin ou le moût au rayonnement UV-C pour détruire levures et bactéries. Ce type de rayonnement, de courte longueur d'onde et très énergétique, génère un effet photochimique rendant l'ADN inopérant pour la réplication et donc la multiplication cellulaire.

Déjà utilisé dans le domaine de l'eau, ce procédé est en cours de validation sur les micro-organismes du vin. Plusieurs paramètres opératoires tels que la dose UV-C délivrée, les matériaux utilisés et les paramètres d'écoulement sont à l'étude.

### Les Champs Electriques Pulsés (CEP)

La technique CEP consiste à appliquer un champ électrique intense produit par un générateur (de quelques à plusieurs dizaines de kV/cm), sous forme d'impulsions de très courtes durées (de

l'ordre de la microseconde), avec des fréquences et des durées variables (de qqµs à qqms). Les cellules biologiques soumises à ces champs électriques voient leur potentiel transmembranaire augmenter jusqu'à la formation irréversible de pores (phénomène d'électroporation). Cela conduit à la libération du contenu cellulaire et à la mort de la cellule microbienne.

**UV-C et CEP sont deux techniques prometteuses mais non encore autorisées par la réglementation européenne (en cours d'évaluation à l'OIV).**



Stratégie : raisonner l'itinéraire d'élaboration dans sa globalité, selon l'objectif sensoriel

### La méthode : construire un itinéraire combinant judicieusement réduction d'emploi du SO<sub>2</sub> et alternatives

Précédemment présentées, des alternatives chimiques, physiques et microbiologiques à l'emploi de sulfites existent. Pour autant, chacune d'entre elles présente des limites et finalement aucune n'est en mesure de remplacer complètement l'emploi de SO<sub>2</sub>.

C'est pourquoi, en l'état, réduire les teneurs en sulfites dans les vins implique de reconsidérer l'itinéraire d'élaboration dans sa globalité tout en limitant, voire supprimant, autant que possible l'emploi de SO<sub>2</sub> à toutes les étapes. La combinaison nouvelle des pratiques technologiques, le positionnement judicieux de telle ou telle alternative sont les gages de la réussite.

Par ailleurs, les difficultés pour réduire fortement les teneurs en sulfites sont plus ou moins insolubles selon les types de vins, l'effet matrice restant très important (couleur, millésime, cépage, équilibre physico-chimique, ...). Ainsi, les points critiques et options technologiques sont à définir et discuter pour chaque contexte, sans chercher à généraliser.

Plusieurs préalables s'imposent : respecter scrupuleusement les bonnes pratiques en matière d'hygiène de cave, créer les conditions pour que les processus fermentaires se déroulent sans

difficulté, maîtriser et contrôler les apports d'oxygène à tous les stades.

Sur le plan opérationnel, la démarche propose de créer les conditions permettant de s'affranchir partiellement ou totalement de l'emploi de sulfites, en contrôlant les effets indésirables de l'oxygène ou des micro-organismes. Le raisonnement se décompose en trois étapes :

- > **Décomposer l'itinéraire d'élaboration** du cas considéré et répertorier les moments et les raisons pour lesquels des sulfites sont ajoutés ;
- > **Identifier et évaluer pour chaque étape** les alternatives disponibles et susceptibles d'être mises en œuvre ;
- > **Hiérarchiser les apports de sulfites** en privilégiant ceux réalisés aux stades critiques, leur suppression constituant dans ce cas une impasse technique.



	ÉTAPE 1	ÉTAPE 2	ÉTAPE 3
	Répertorier les apports de SO <sub>2</sub> dans l'itinéraire : Quand ? Pourquoi ?	Identifier et évaluer les alternatives disponibles	Hierarchiser les moments d'apports de SO <sub>2</sub>
<p><b>STADE PRE-FERMENTAIRE</b> Récolte, transport et traitement de la vendange Extraction et clarification des jus</p>	<p>Lutter contre le brunissement enzymatique (oxydation) Contrôler la flore indigène (levures et bactéries)</p>	<p>Hygiène de cave et des matériels de récolte Organisation du chantier de récolte Acide ascorbique, gaz neutre Contrôle thermique Bioprotection...</p>	3
<p><b>STADE FERMENTAIRE</b> Arrêt de fermentation alcoolique</p>	<p>Prévenir une déviation bactérienne en situation d'arrêt de fermentation</p>	<p>Lysozyme Contrôle thermique Filtration...</p>	4
<p><b>STADE POST-FERMENTAIRE</b> Elevage et stabilisation</p>	<p>Protéger le vin de l'oxydation Contrôler les populations de micro-organismes (bactéries, <i>Brettanomyces</i>)</p>	<p>Lysozyme Gaz inerte Contrôle thermique Conservation sur lies Filtration, traitements physiques, Collage...</p>	2
<p><b>CONDITIONNEMENT</b> Etapas préparatoires (filtration, ...) Dégorgement, mise en bouteilles et obturation</p>	<p>Prévenir oxydation et déviations microbiologiques dans le contenant</p>	<p>Acide ascorbique, acide sorbique, DMDC Filtration, traitements physiques Conditionnement pauvre en oxygène Obturateur faiblement perméable au gaz ...</p>	1

Méthode pour réduire les teneurs en sulfites dans les vins

Remarque : les différents points mentionnés sont généraux et sont à adapter en fonction du type de produit considéré (couleur, cépage, ...)

## Les outils à mettre en œuvre

### La Maitrise de l'oxygène

#### Solubilité de l'oxygène

Les échanges gazeux entre le vin et son atmosphère sont régis par la recherche d'équilibre des pressions partielles. À une pression atmosphérique de 1013,25 hPa et à 20°C, dans l'air saturé en vapeur d'eau, la pression partielle de l'O<sub>2</sub> est de 207,4 hPa. Sous ces conditions, la solubilité maximale de l'O<sub>2</sub> dans un vin est voisine de 8,4 mg/L. À pression constante, la concentration en O<sub>2</sub> dissous décroît exponentiellement avec l'augmentation de la température, tandis qu'elle augmente proportionnellement à la pression. L'oxygène ainsi que l'azote sont des gaz peu solubles comparativement au dioxyde de carbone.

#### Dissolution de l'oxygène

Lorsqu'un gaz contenant de l'O<sub>2</sub> (de l'air, dans le cas le plus fréquent) est mis en contact d'un vin, l'oxygène y diffuse progressivement. Le maximum qui puisse être atteint correspond à la concentration saturante dans les conditions de pression et de température données. La vitesse de dissolution est décrite par une loi de diffusion (loi de Fick) :  $dc/dt = kL \cdot a (C^* - C_i)$

avec C\* = concentration saturante (liée à la pression partielle par la loi de Henry) ; C<sub>i</sub> = concentration initiale du gaz dissous ; kL = coefficient volumique de transfert de matière ; a = surface spécifique de l'interface gaz / liquide exprimée en m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

Elle est essentiellement dépendante de la surface de contact gaz/liquide et de l'écart

entre la concentration initiale en gaz du liquide C<sub>i</sub> et la concentration saturante C\*.

Les enrichissements du vin en O<sub>2</sub> de l'air seront donc d'autant plus rapides que la surface de la phase liquide ainsi que la finesse et la persistance de son émulsion avec l'air seront plus grandes et que la teneur initiale sera faible. Les basses températures sont dans une moindre mesure des facteurs favorisant la vitesse de diffusion sur un vin agité.

#### Consommation de l'oxygène

La présence d'O<sub>2</sub> dans les vins, suite à sa dissolution, n'est pas un état stable. L'O<sub>2</sub> dissous est progressivement consommé par divers substrats, principalement les polyphénols. La disparition des arômes floraux est plus rapide sous l'effet des apports d'O<sub>2</sub> même à 15 °C et au niveau organoleptique, les altérations aromatiques arrivent avant les altérations chromatiques. Un vin saturé en air consomme l'O<sub>2</sub> en l'espace d'une à plusieurs semaines. Les cinétiques sont plus rapides avec les vins rouges qu'avec les vins blancs. **Au contraire des phénomènes de dissolution, la vitesse de consommation augmente quand la température augmente.**

En consommant de l'O<sub>2</sub>, les lies et les polyphénols protègent les autres constituants du vin de l'oxydation. La capacité

de consommation maximale d'O<sub>2</sub> par les vins est comprise entre 80 mg/L pour les vins blancs et 800 mg/L dans le cas des vins rouges.

#### Conditionnement et conservation des vins

Au cours de son élaboration, le vin a besoin d'environ 10 mg/L en O<sub>2</sub> pendant la fermentation alcoolique, puis de quelques microgrammes pendant son élevage, variable selon l'objectif commercial. Mais une fois que l'œnologue décide que le vin est prêt à être conditionné, il faut chercher à limiter les apports en O<sub>2</sub> subis par le vin au cours des opérations de pompages, filtration, stabilisation tartrique et surtout réduire du mieux possible l'O<sub>2</sub> piégé dans l'espace de tête (Head Space Oxygen) et dissous (Dissolved Oxygen) dans le vin une fois en bouteille ou en BIB. Ensuite, c'est l'Oxygen Transmission Rate (OTR) du contenant qui régule les entrées d'O<sub>2</sub> et donc l'O<sub>2</sub> consommé par le vin.

L'oxygène piégé au conditionnement (Total Package Oxygen = HSO + DO) et celui qui diffuse au cours du temps via le bouchon, la capsule ou l'emballage (OTR) sont consommés par les constituants du vin et les sulfites. Réduire et maîtriser les quantités d'O<sub>2</sub> piégées puis consommées par le vin permet de diminuer la quantité de sulfites à rajouter, de ralentir l'oxydation et de limiter l'hétérogénéité intra lot.





## Focus Mesure de l'oxygène

Les phénomènes de dissolution et de consommation étant concomitants, la mesure de l'oxygène « en direct » et non après prélèvement s'impose. Que la mesure s'opère en ligne au cours d'un transfert de vin ou ponctuellement sur un contenant avant ou après conditionnement, elle reste une photographie instantanée de l'état résultant de ces deux phénomènes.

La mesure s'applique à l'oxygène dissous dans le vin ou à celui contenu dans l'espace gazeux d'un contenant (cuve, bouteille, bib). L'oxygène dissous s'exprime en mg/L ou ppm. Pour l'oxygène gazeux, l'unité de mesure, hPa ou % de saturation, est souvent convertie en mg pour un volume donné afin d'être additionné à la quantité d'oxygène dissous et ainsi calculer la quantité totale d'oxygène total (piégée au conditionnement par exemple).

Les instruments employant la technologie de luminescence rendent accessibles, sur les plans techniques et économiques, les mesures sur vin au plus près de la production. Celles-ci sont alors de véritables outils de contrôle et de pilotage des quantités d'oxygène présentes ou introduites aux différents stades technologiques (élevage, transfert, filtration, conditionnement).

A l'inverse, la mesure d'oxygène dans un moût ou vin en fermentation reste difficile d'accès parce que les vitesses de consommation sont très rapides du fait de l'activité enzymatique et/ou microbologique de ces matrices.

## Les contrôles microbiologiques

Le vin est un produit fermenté par nature. Il peut être contaminé par des micro-organismes d'altérations à tous les stades de son élaboration. La maîtrise microbiologique constitue donc un enjeu œnologique avec un fort impact qualitatif et il est nécessaire de disposer de méthodes analytiques fiables, d'un coût raisonnable.

Les techniques classiques, notamment les déterminations en milieux gélosés et l'observation au microscope, reflètent bien la réalité œnologique. Cependant elles nécessitent un laboratoire spécifique et demandent un délai plus ou moins important (deux jours pour une numération de *Saccharomyces* mais une semaine pour une numération de *Brettanomyces* ou de bactéries lactiques).

Des méthodes plus complexes permettent d'obtenir des résultats plus rapides. Aujourd'hui les plus répandues en œnologie utilisent soit des techniques de biologie moléculaire (amplification de l'ADN), soit de cytométrie en flux (détection de particules). Les déterminations peuvent être spécifiques d'espèces et présentent donc un avantage par rapport aux techniques classiques. Mais ces méthodes sont aussi nettement plus complexes à mettre en œuvre, ce qui peut impacter la précision des résultats.

Un point fondamental de l'analyse microbiologique, trop souvent négligé, est la qualité du prélèvement et la rapidité de sa prise en charge au laboratoire. Celui-ci doit être réalisé avec du matériel stérile et un protocole bien établi : prélever en haut de cuve pour une recherche de *Brettanomyces* a peu de sens, sachant que cette levure sédimente dans les lies...

### L'hygiène de cave

L'hygiène en cave est essentielle pour l'intégrité des surfaces dans l'objectif de limiter les phénomènes d'encrassement et bio-adhésion. La présence de souillures résiduelles sur toute surface en contact avec le raisin, le moût ou le vin est un frein à l'efficacité des sulfites, chacune de ces souillures pouvant abriter des micro-organismes d'altération.

La réduction d'emploi de sulfites ne peut donc se concevoir sans la mise en place d'un plan d'hygiène strict consistant à : prélever sans tarder pour éliminer les souillures non adhérentes, nettoyer correctement puis procéder à la désinfection. Le choix du détergent ou du désinfectant dépend de la nature de la souillure (organique, minérale, microbienne) et des matériaux constituant la surface (inox, bois, béton, ...) et de leur nettoyabilité. La concentration de la formulation chimique, les paramètres hydrodynamiques

(pression, débit), la température, le temps de contact sont autant de paramètres à adapter au niveau d'encrassement de la surface à traiter. Les outils d'application (canon à mousse pour les surfaces ouvertes, jet rotatif pour les circuits fermés) sont importants pour la réussite de l'opération. Si nécessaire, et à minima périodiquement, ils convient de compléter chacune des procédures par un démontage des éléments amovibles (joints, vannes, corps de pompe, ...).

Par ailleurs, la plupart des micro-organismes d'altération présentent un pouvoir bio-adhésif important pour les surfaces, surtout l'acier inoxydable. Nombreux d'entre eux sont capables d'adopter un état de survie (dit viable non cultivable) leur permettant de résister notamment aux procédures d'hygiène.

### Focus Vins à sucres résiduels

Les vins à sucres résiduels sont par essence d'une part riches en substances combinant le  $\text{SO}_2$  du fait de la surmaturation de la vendange et du développement d'une abondante microflore associée, d'autre part fortement instables sur le plan microbiologique du fait de la présence de sucres fermentescibles résiduels. Les apports de sulfites ont ainsi pour objectifs majeurs : de stopper l'activité fermentaire (mutage), d'assurer la stabilité microbienne, de limiter les évolutions oxydatives (couleur, arômes).

L'opération de mutage est le point le plus critique en termes de réduction des sulfites, des doses importantes de cet additif étant susceptibles d'être apportées afin de stabiliser l'équilibre éthanol/sucres souhaité. Afin de maximiser l'effet du  $\text{SO}_2$  ainsi ajouté, il importe d'y associer des techniques complémentaires : l'abaissement de la température pour ralentir ou bloquer l'activité levurienne, les techniques de stabilisation dites physiques (filtration frontale stérile, flash pasteurisation, microfiltration tangentielle, champs électriques pulsés) pour éliminer toute ou partie de la biomasse microbienne.

Le taux de combinaison étant très variable pour ce type de vin, le test de combinaison est un outil précieux pour déterminer la dose de sulfitage nécessaire pour atteindre l'objectif de  $\text{SO}_2$  libre (de l'ordre de 30 à 40 mg/L). Son utilisation contribue à prévenir l'échec du mutage et le fractionnement du sulfitage qui en résulte (au risque d'engendrer la formation supplémentaire de composés combinants), et à éviter un sulfitage trop important.

Par ailleurs, l'opération de mutage réalisée, il convient ensuite d'opérer dans des conditions d'hygiène strictes durant l'élevage et la conservation dans le but d'éviter toute contamination microbienne (levures ou bactéries) susceptibles d'entraîner une altération (reprise de fermentation, piquûre). Enfin, notons que l'instabilité microbiologique des vins à sucres résiduels est d'autant plus significative que les teneurs en alcool et en sucres sont faibles. Aussi, notamment pour les vins dits demi-secs, l'élimination précoce de la biomasse microbienne est souhaitable, surtout dans l'objectif de réduire les teneurs en sulfites.

**Pour en savoir plus : Cahier Itinéraires N° 9 : Le Mutage des Vins à sucres résiduels sur [www.vignevin.com/publications](http://www.vignevin.com/publications):**

## Les déviations microbiologiques

STADES	ESPÈCES	PRODUITS	EFFETS
RAISIN	Moisissures (dont <i>Penicilium sp</i> )	géosmine	goût « moisis »
MOÛT	Levures oxydatives (dont <i>Hanseniaspora</i> )	acide acétique, acétate d'éthyle	acescence
MOÛT & VIN	Bactéries acétiques	acide acétique, acétate d'éthyle	piqûre acétique, acescence
	Bactéries lactiques	acide D-lactique , acide acétique (mannitol)	piqûre lactique, goût « fromage »
VIN	Levure <i>Brettanomyces</i>	phénols volatils (éthyl-phénol, éthyl-gaïacol)	goût phénolé « animal »
	Bactéries lactiques ? <i>Brettanomyces</i> ?	tétrahydropyridine, pyrroline	goût « souris »
	Bactéries lactiques * ( <i>Oenococcus</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> )	diacétyle (métabolisme de l'acide citrique)	arôme beurré
		amines biogènes (histamine, tyramine, putrescine)	masque aromatique (allergie)
		acroléine (métabolisme du glycérol)	maladie de l'amertume
		acide acétique, acide lactique, acide succinique (métabolisme de l'acide tartrique)	maladie de la tourne vin plat et aigret
polysaccharides (produit par <i>Pediococcus</i> )	maladie de la graisse vin filant		

(\*) : *Oenococcus* (hétérofermentaire = production d'acide acétique et lactique à partir du sucre), *Pediococcus* (homofermentaire = production uniquement d'acide lactique à partir du sucre), *Lactobacillus* (homo et hétérofermentaire).

### Focus Goût de souris

Le goût de souris est un défaut sensoriel en inquiétante recrudescence, allant de pair avec le développement du non-sulfitage des vins. D'ailleurs, il est rarissime d'en trouver sur des vins contenant plus de 10 mg/L de SO<sub>2</sub> libre.

Ce caractère est principalement perceptible en bouche par voie rétro-nasale, après déglutition. Dans le cas de fortes teneurs en molécules responsables, il peut également être perçu par voie ortho-nasale.

Les descripteurs sensoriels utilisés pour le décrire sont le maïs (pop-corn, tortilla), l'urine de rongeurs (d'où le goût de souris). La perception est similaire sur tous les types vins.

Les molécules responsables du goût de souris appartiennent à la famille des pyridines. Celles-ci existent sous deux formes selon le pH, la plus volatile étant majoritaire à pH élevé. Cette caractéristique complique leur détection lors d'une séance de dégustation classique, car le pH salivaire varie beaucoup. A l'inverse, elle permet de révéler précocement le défaut, en olfaction, en ajoutant environ 5g/L de bicarbonate de soude.

Les pyridines sont produites selon deux mécanismes distincts. Le premier, de nature microbiologique, relève de l'activité des bactéries lactiques (y compris avec des bactéries commerciales *Oenococcus*) ou des levures *Brettanomyces*. Le second (hypothèse restant à valider), de nature chimique, pourrait mettre en jeu la réaction de Maillard (dégradation de Strecker).

Cette altération demeurant à ce jour encore mal connue, il n'existe aujourd'hui aucune stratégie préventive (autre que le sulfitage) ou solution curative à l'apparition de ce défaut sensoriel.

## Ne plus sulfiter ?

S'affranchir de l'emploi de  $\text{SO}_2$  consiste à faire l'impasse sur le plus ancien et universel intrant œnologique. Il s'agit par conséquent d'une rupture complète avec les usages convenus en termes d'itinéraire d'élaboration des vins. Compte tenu des effets technologiques multiples des sulfites, il est illusoire de chercher à produire les mêmes vins, notamment sur le plan sensoriel. Ce sont tout simplement des produits différents, avec leur profil sensoriel propre.

Sur le plan de la méthode, il s'agit de pousser à l'extrême la méthode proposée pour réduire l'emploi de sulfites. Ici, les choix technologiques opérés se concentrent sur la prévention autant que possible de l'apparition de caractères non désirés, tels que l'oxydation ou les déviations microbiologiques (*Brettanomyces*, goût de souris, ...). Les procédures d'hygiène strictes constituent un préalable. Créer les conditions pour assurer des fermentations alcooliques ou malolactiques rapides et complètes en est un autre : en effet, en l'absence de sulfites, les périodes de latence sont des phases particulièrement à risque pour le développement de flores indésirables. A ce titre, les micro-organismes sélectionnés, ou à défaut des pieds de cuve (sous réserve qu'ils soient élaborés précautionneusement), sont des bons outils, qu'ils soient utilisés en bioprotection ou pour initier les fermentations. Concernant plus spécifiquement la question de la fermentation malolactique, l'absence de sulfitage rend cette étape fortement recommandable pour tous les vins de manière à stabiliser le vin sur le plan microbiologique, et ne pas risquer de subir une telle fermentation en conditions non maîtrisées en bouteilles. L'assemblage de cuvées issues de cépages différents ou, si permise, l'acidification, sont des voies de compensation pour retrouver un niveau d'acidité plus conforme aux souhaits.

En respectant tous ces préalables, l'étape de vinification proprement dite, peut être franchie avec succès sans ajout de  $\text{SO}_2$ . A l'inverse, les étapes d'élevage, de conditionnement et de conservation sont beaucoup plus ardues.

Les risques d'altération du vin, par oxydation ou déviations microbiologiques, sont d'autant plus significatifs que l'élevage est long, et réalisé en barriques. C'est la raison pour laquelle le vin sera le moins transvasé possible, stocké en évitant les élévations de température importantes (chai à température contrôlée). De même, la gestion des gaz dissous s'impose, en

évitant la dissolution incontrôlée d'oxygène et en préservant le cas échéant celle de gaz carbonique. Enfin, certaines périodes de l'année telles que le printemps et la période des vendanges sont également plus propices aux développements et contaminations microbiennes.

L'étape du conditionnement est LE stade critique. La mise en œuvre de solutions techniques excluant l'apport d'oxygène (matériel, obturateur) et permettant d'ajuster le  $\text{CO}_2$  est indispensable. De même, une filtration soignée (sur membranes, filtration tangentielle) est le meilleur moyen d'éliminer autant que possible les flores résiduelles de micro-organismes. La flash pasteurisation est également un outil à considérer pour stabiliser le vin avant conditionnement.

Après conditionnement, la période de conservation avant consommation est également une phase de tous les dangers, puisque pas forcément maîtrisée par le producteur (conditions thermiques de transport et conservation). Aussi, l'évolution de ces vins non sulfités étant mal connue à ce jour, une mise en marché rapide en vue d'une consommation sans tarder est également un moyen pour limiter les évolutions non souhaitées.

Au final, ne pas sulfiter ne signifie aucunement ne pas intervenir sur le process d'élaboration du vin, bien au contraire ! Une vigilance de tous les instants s'impose pour suivre l'évolution du produit, et le cas échéant apporter des solutions correctives adéquates sous peine de risquer perdre la cuvée élaborée. Ainsi, la traque d'une part à la dissolution d'oxygène, d'autre part au développement de micro-organismes indésirables est permanente : prélèvements et analyses s'avèrent indispensables, le laboratoire œnologique étant l'interlocuteur privilégié.

Malgré le respect de tous ces grands principes généraux, force est de constater que produire des vins sans sulfites est une entreprise risquée. Si le profil sensoriel du vin attendu est nécessairement différent, il importe à tout prix d'éviter l'apparition de caractères indésirables dominants et uniformes, « standardisant » le produit et rendant de fait impossible toute expression de caractères sensoriels originaux, propres à un lieu ou à un cépage. Enfin, limiter la production de vins sans sulfites à une fraction de la production de la cave est une option permettant de limiter les risques.



**Ne pas sulfiter n'est pas synonyme de non intervention.**



## Contexte des expérimentations

Dans le cadre d'un programme national ayant bénéficié du soutien financier de FranceAgriMer, la réduction d'emploi des sulfites a été testée en situations expérimentales (quelques hL maximum) sur plusieurs catégories de vins : blancs secs, rouges, rosés et effervescents.

### 3 itinéraires ont ainsi été définis en fonction de leur objectif :

#### •I1 : Itinéraire référence, objectif « optimisation et sécurité ».

Il intègre les pratiques d'élaboration usuelles et les bonnes règles d'emploi du SO<sub>2</sub> dans la région ou pour la production considérée.

#### •I2 : Itinéraire 50%, objectif « réduction de la teneur finale en sulfites de 50% par rapport à la référence ».

Il est censé être transférable à court ou moyen terme auprès des praticiens, acceptable sur le plan économique et environnemental. La préservation des grands équilibres sensoriels actuels est un impératif. Il met en œuvre la méthode proposée par ailleurs, appliquée au cas par cas selon les situations considérées. Concrètement, atteindre cet objectif de réduction des teneurs en sulfites impose d'une part d'ajouter moins de SO<sub>2</sub> aux différents stades (et/ou faire des impasses de sulfitage), d'autre part de mettre en œuvre des alternatives éprouvées (par exemple inertage pour lutter contre l'oxydation,

méthodes physiques de stabilisation microbiologiques ou filtrations pour prévenir des déviations microbiennes). C'est l'expertise propre à chacun des expérimentateurs, pour un produit donné (ou région de production), qui doit conduire au choix de telles ou telles options techniques.

#### •I3 : Itinéraire minimaliste, « objectif teneur minimale en sulfites »

De manière exploratoire, il s'agit de produire des vins peu ou pas sulfités (-10 mg/L de sulfites dans les vins conditionnés). Il reprend de manière ultime la démarche entreprise pour l'itinéraire 50%.

Ces trois itinéraires ont été sensiblement adaptés selon les produits, en fonction des savoir-faire propres à chaque région. Aussi, plus qu'un schéma de vinification, c'est l'objectif global de chacun des itinéraires qui est commun à tous les essais.

Quelques points clé ou préalables communs à tous les itinéraires ont été retenus :

- ensemencement obligatoire en levures et bactéries lactiques afin de limiter autant

que possible les risques de déviations microbiologiques ;

- contrôle de l'exposition à l'oxygène aux différentes étapes d'élaboration ;
- suivi microbiologique impératif au cours de l'itinéraire et durant le stockage des bouteilles, ceci constituant un outil d'aide à la décision précieux pour certaines technologies de stabilisation des vins ;
- mise en bouteilles en conditions contrôlées, notamment pour ce qui est des apports en oxygène ;
- conservation des vins embouteillés dans des conditions réalistes de stockage (12-20°C).

Plusieurs exemples de réalisations sont présentés. D'autres références sont disponibles : Alsace (Riesling, Gewurztraminer), Val de Loire (Melon B.), Languedoc (Chardonnay, Cabernet, Syrah), Beaujolais (Gamay), Bourgogne (Pinot noir).

Pour en savoir plus : [institut@vignevin.com](mailto:institut@vignevin.com)





## Cas des Vins blancs du Sud-Ouest

### Quelle est la problématique des vins blancs de Sauvignon du Sud-Ouest ?

Ce sont des vins à cycle court et consommation rapide, caractérisés par une forte expression aromatique de type thiol. Pour atteindre l'objectif sensoriel fixé, une attention toute particulière est portée par le vinificateur à la protection contre l'oxydation à tous les stades de l'élaboration. A ce titre, l'emploi de sulfites est central dans le process d'élaboration.

### Comment ont été adaptés les itinéraires I1, I2 et I3 ?

Concernant I2, le choix s'est porté sur une réduction d'environ la moitié des doses de SO<sub>2</sub> apportées aux différentes étapes d'élaboration. En compensation, l'inertage et la maîtrise thermique ont été les principales mesures mises en œuvre.

Concernant I3, il s'est rapproché du précédent tout en s'affranchissant de l'apport de sulfites.

### Quels sont les principaux résultats enregistrés, sur les plans analytiques, microbiologiques et sensoriels ?

Les vins élaborés traditionnellement (I1) contiennent 80 à 100 mg/L de sulfites totaux après conditionnement (20 à 25 mg/L de SO<sub>2</sub> libre), ceux issus de I2 40 à 50 mg/L (10 à 15 mg/L libre), et ceux de I3 moins de 10 mg/L.

Les fermentations alcooliques se sont déroulées normalement dans les trois cas.

Sur le plan analytique, peu de différences sont observées entre les vins. Les vins I2 et I3 ont certes une nuance jaune plus prononcée, mais celle-ci reste dans une plage tout à fait acceptable sur le plan visuel.

En revanche, des écarts très significatifs sont enregistrés sur la teneur en thiols variétaux dans les vins. Ainsi, les vins I2 sont plus pauvres en ces composés (-40 à -60%), lesquels sont pratiquement absents des vins I3. A l'inverse, le moindre sulfitage n'a pas eu d'impact sur les quantités de composés fermentaires présents dans les vins (acétates d'alcools supérieurs et esters éthyliques d'acide gras).

Sur le plan microbiologique, la fermentation malolactique ne s'est pas déroulée dans les vins moins ou peu sulfités. Aucune déviation microbienne

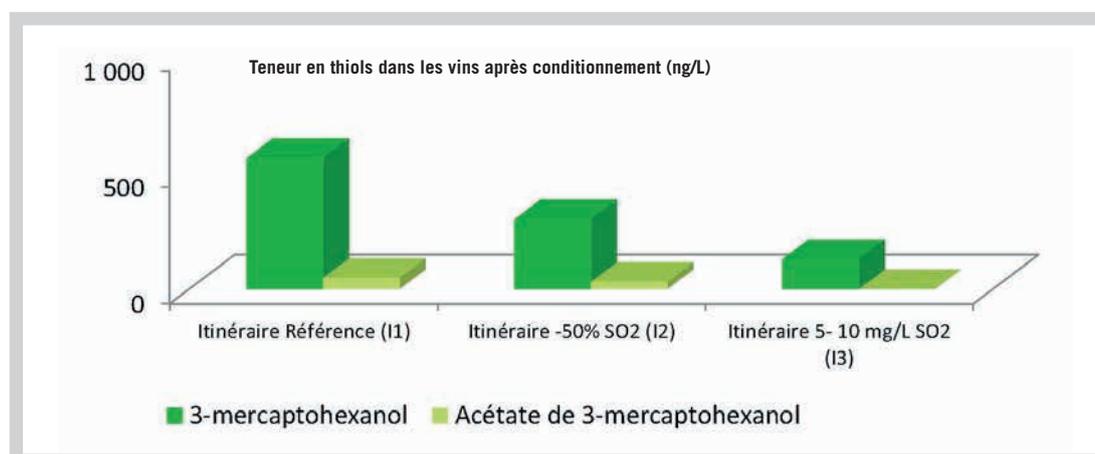
n'a été relevée, même si les populations de micro-organismes dénombrées sont supérieures. La conservation des vins à température contrôlée (moins de 10°C) s'est sans doute avérée utile sur ce point.

Sur le plan sensoriel, les différences entre les vins sont notoires. Le vin I1 est particulièrement fruité, avec des notes propres à la présence de thiols variétaux (buis, agrumes, fruits exotiques). A l'inverse, le vin I2 est moins fruité, avec une perte partielle des caractères thiolés et apparition de notes d'évolution. Ce constat est amplifié pour le vin I3, où les notes oxydatives prédominent.

### Quelles conclusions tirer concernant la réduction des sulfites pour les vins blancs de sauvignon à forte expression aromatique de type thiol ?

Ces expérimentations soulignent l'extrême difficulté de produire des vins blancs de type sauvignon en réduisant drastiquement les quantités de sulfites employées. Il y a rapidement une perte des caractères aromatiques usuels.

Contact pour en savoir plus :  
[francois.davaux@vignevin.com](mailto:francois.davaux@vignevin.com)



Impact du niveau de sulfitage sur la concentration en thiols variétaux dans les vins de Sauvignon.  
Source : IFV Pôle Sud Ouest, 2011



## Cas des Vins blancs de Bourgogne

### Quelle démarche expérimentale pour réduire les sulfites dans les vins blancs de Bourgogne ?

En Bourgogne, la teneur en  $\text{SO}_2$  des vins de Chardonnay est classiquement de l'ordre de 90 mg/L à la mise en bouteille. Les travaux expérimentaux ont été entrepris sur des vendanges manuelles. Fermentations alcooliques et malolactiques sont réalisées avec apport de micro-organismes sélectionnés, en situation thermique contrôlée. Dans le cas de I3, les opérations technologiques sont réalisées à l'abri de l'air alors que les autres intègrent la possibilité d'aérations en fonction des besoins. Les vins sont filtrés à 1.2 $\mu\text{m}$  avant conditionnement.

### Quelles conséquences de la réduction des sulfites sur la vinification ?

Les moûts non sulfités I3 sont initialement bruns, alors qu'une addition de 30 mg/L de  $\text{SO}_2$  (I2) suffit à éviter ce brunissement. La couleur s'éclaircit rapidement avec le développement de la fermentation alcoolique, si bien que tous les vins

présentent ensuite une même couleur jaune pâle en fin d'élevage.

La fermentation alcoolique se déroule dans tous les cas sur environ trois semaines, une période de latence plus longue étant constatée avec un sulfitage à dose usuelle (I1). Le déroulement de la fermentation malolactique est influencé par le niveau de sulfitage du moût, avec cependant une réalisation en moins de trois mois pour tous les lots, du fait de l'ensemencement bactérien. La teneur en acidité volatile à la mise en bouteille est limitée dans l'absolu : comprise entre 0.28 à 0.46 g/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en fonction du niveau de sulfitage. La quantité de  $\text{SO}_2$  libre des vins I2 reste significative.

### Quelles conséquences de la réduction des sulfites sur la qualité gustative ?

Après 20 mois de conservation en bouteille, l'analyse sensorielle montre que le niveau d'oxydation est d'autant plus élevé que la teneur en sulfites est faible. L'impact de la température de stockage est comparativement très limité.

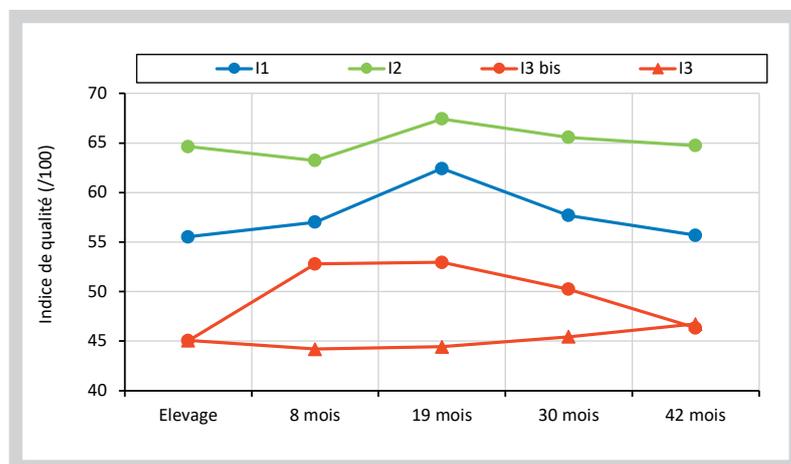
L'indice de qualité calculé à partir du profil sensoriel évolue peu au cours de quatre

années de conservation en bouteille. La meilleure qualité sensorielle est obtenue pour le sulfitage à demi-dose (I2) alors que la vinification sans sulfite (I3) est nettement dépréciée. Un apport de 10 mg/L de  $\text{SO}_2$  à la mise en bouteille (I3 bis) apporte une légère amélioration en vin jeune. Les arômes fruités sont bien exprimés pour les lots sulfités à demi-dose alors que le sulfitage à dose usuelle (I1) peut induire une tendance réductrice.

### En conclusion

Techniquement, il est tout à fait envisageable de vinifier un Chardonnay de Bourgogne avec peu de  $\text{SO}_2$  ajouté, sans différence analytique majeure. En revanche, une absence totale de sulfitage conduit à des profils oxydatifs atypiques. Notons que ces résultats ont été obtenus avec une bonne maîtrise des fermentations, du niveau d'hygiène et de la gestion de l'oxygène.

Contact pour en savoir plus :  
[vincent.gerbaux@vignevin.com](mailto:vincent.gerbaux@vignevin.com)



Incidence de la teneur en  $\text{SO}_2$  sur l'évolution de la qualité sensorielle du Chardonnay de Bourgogne (moyennes des millésimes 2010, 2011, 2012).

Source : IFV Pôle Bourgogne-Beaujolais-Jura-Savoie.



## Cas des Vins rouges de Bordeaux

### Quelle est la problématique des vins rouges de Bordeaux ?

Dans le vignoble bordelais, la tendance est à une réduction des sulfites dans les vins, et notamment dans les vins rouges où les teneurs oscillent entre 50 et 100 mg/L.

Les vins rouges, de cépage Merlot, sont caractérisés par un élevage de 6 à 9 mois en cuve. Le profil sensoriel recherché est un compromis entre fruité, structure et souplesse. Le moindre sulfitage est en phase avec cet objectif mais des incertitudes persistent sur la préservation de la qualité finale des vins (risque microbiologique en particulier).

### Comment ont été adaptés les itinéraires I1, I2 et I3 ?

Les expérimentations ont été menées sur des vendanges de Merlot saines, récoltées à maturité technologique et début de maturité phénolique.

I1, la référence, est tout à fait conforme à la pratique habituelle, avec une conduite optimisée des fermentations, le respect des règles d'usage pour l'élevage et le conditionnement. L'itinéraire I2 est similaire à I1, excepté au niveau des apports de SO<sub>2</sub>. Ces derniers sont opérés

avec la même fréquence, mais chacun des apports est réduit de moitié. Pour I3, aucun apport de SO<sub>2</sub> n'est réalisé, mais des alternatives sont combinées pour préserver au mieux le profil sensoriel du vin (levurage précoce, inertage, traitements physiques de stabilisation fin fermentations ou durant l'élevage). Le niveau d'hygiène de la cave est élevé.

### Quels sont les principaux résultats enregistrés ?

Sur le plan analytique, les vins moins ou non sulfités sont « marchands », leur acidité volatile restant tout à fait acceptable (de 0,28 à 0,30 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Les teneurs en SO<sub>2</sub> total en fin d'élevage sont pour I1 aux alentours de 70 mg/L, pour I2 de 30 mg/L et inférieures à 10 mg/L pour I3. Cependant, des différences récurrentes sont notées au niveau de la composition phénolique. Les vins I2 et I3 sont moins riches en polyphénols (-10 à -15 %). Ceci peut s'expliquer soit par une extraction moindre de ces composés en lien avec l'effet dissolvant du SO<sub>2</sub>, soit par une moins bonne stabilité dans le temps des composés extraits. Ces observations sont confirmées après deux ans de conservation en bouteilles.

Aucune altération microbienne n'est enregistrée. Les choix opérés en matière de sulfitage n'ont pas eu d'incidence majeure sur les populations microbiennes relevées en cours d'élevage.

Les profils sensoriels des vins jeunes sont assez proches. Des écarts significatifs sont perçus deux ans après conditionnement. A ce stade, les vins I2 et I3 se démarquent par une certaine évolution (couleur, arômes).

### En conclusion

L'élaboration de vins rouges de Bordeaux avec peu ou pas de sulfites ajoutés est réalisable actuellement avec les moyens techniques disponibles. Mais si la maîtrise des processus fermentaires est assez aisée, les conditions d'élevage et de mise doivent être appréhendées avec beaucoup de soin et suivi (microbiologique notamment). Plaisants en vin jeunes, ces vins moins sulfités ont sans doute moins d'aptitude à la conservation, des caractères d'évolution étant clairement identifiés au bout de deux ans. Des études complémentaires sont en cours afin d'évaluer cet aspect.

Contact pour en savoir plus :

[emmanuel.vinsonneau@vignevin.com](mailto:emmanuel.vinsonneau@vignevin.com)

	APRÈS CONDITIONNEMENT			2 ANS APRÈS CONDITIONNEMENT		
	I1	I2	I3	I1	I2	I3
<b>INDICE POLYPHÉNOLS TOTAUX</b>	60	56	52	62	59	55
<b>INTENSITÉ COLORANTE MODIFIÉE (sous 1 cm, corrigée SO<sub>2</sub>)</b>	14,5	14,7	13,3	11,6	12,0	11,3
<b>ANTHOCYANES (mg/L)</b>	549	470	394	142	138	134

Impact du niveau de sulfitage sur les caractéristiques phénoliques des vins.

Source : IFV Pôle Nouvelle-Aquitaine, 2009.



## Cas des Vins rouges de la Vallée du Rhône

### Quelle est la problématique de la réduction des sulfites sur les vins rouges de la Vallée du Rhône ?

Les vins rouges méridionaux ne sont pas réputés pour être sensibles à l'oxydation. Certes, la robe des vins de Grenache peut prendre des nuances défavorables lorsque la couleur est insuffisante. Mais une légère oxydation de ces vins apporte des notes aromatiques généralement tolérées, voire appréciées.

Aussi, il y a donc probablement pour les vins de la Vallée du Rhône la possibilité de réduire drastiquement les quantités de sulfites. Le principal risque à priori est d'ordre microbiologique, le pH élevé de ces vins étant très favorable aux micro-organismes d'altération.

### Comment ont été adaptés les itinéraires I1, I2 et I3 ?

I2 a été testé selon deux variantes : soit l'apport d'une demi-dose répartie tout au long du process, soit un apport d'une demi-dose ciblé après fermentation malolactique. Cette dernière option vise à exercer une action choc sur les micro-organismes, bactéries lactiques et *Brettanomyces* étant réputées pouvoir se maintenir en situation de sulfitage trop faible.

L'itinéraire I3 a été expérimenté avec et sans mesures compensatoires à l'absence

de sulfitage (inertage, ensemencements levuriens et bactériens, filtration, ...). Enfin, un unique et faible apport de sulfites à la mise en bouteilles a également été testé.

### Quels sont les principaux résultats enregistrés ?

Les fermentations se sont bien déroulées et ce quel que soit l'itinéraire considéré. Les vins produits ne présentent aucune différence majeure sur les paramètres analytiques classiques.

Sur le plan microbiologique, les vins issus de l'itinéraire I2 et à fortiori I3 contiennent plus de bactéries lactiques tout au long de l'élevage, sans impact apparent au niveau de l'acidité volatile par exemple. De même, il n'est pas constaté de déviations type phénol volatil. Sans doute que l'hygiène stricte imposée a permis de prévenir les déviations microbiologiques.

A l'inverse, le profil sensoriel des vins est le plus significativement impacté par l'itinéraire. Ainsi, l'intensité du défaut d'oxydation est inversement proportionnelle à la quantité de sulfites employée. Sur I2, la déviation est minime par rapport au témoin. Le choix d'apporter une demi-dose de sulfites sitôt fermentation malolactique (aucun apport sur vendange et à la mise en bouteilles) a permis de produire un vin avec un profil standard.

Concernant I3, apporter 10 mg/L de sulfites au conditionnement est utile pour prévenir les défauts sensoriels durant la première année. Passée cette période, le caractère oxydatif apparaît. Enfin, concernant l'incidence du cépage, il apparaît clairement que les vins de Syrah sont moins sensibles à l'oxydation, y compris dans la durée.

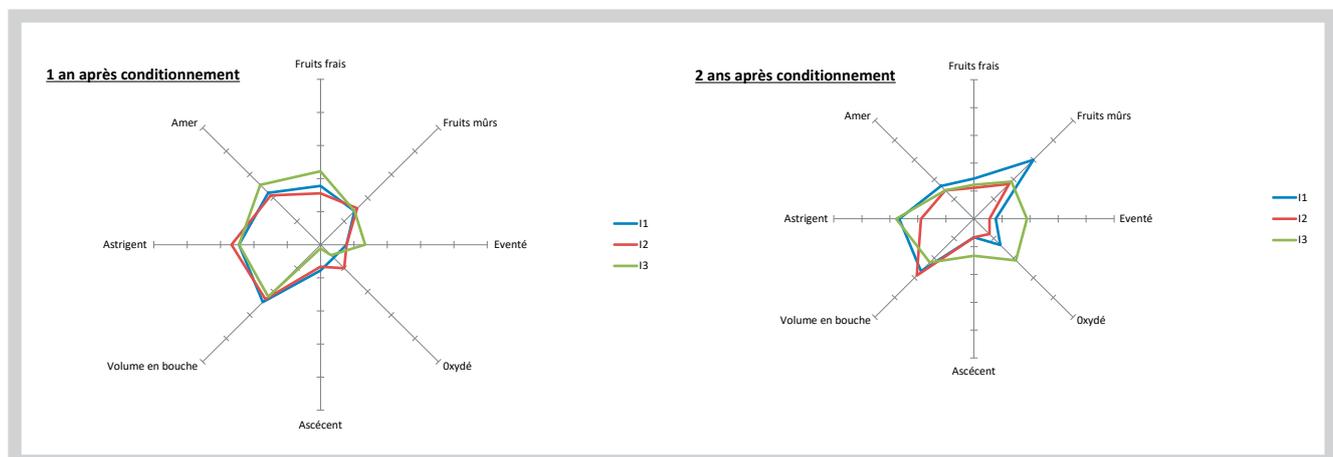
### En conclusion

Les vins de Grenache sont indubitablement plus sensibles à l'oxydation que ceux de Syrah. Pour élaborer des vins sans sulfites, mieux vaut donc privilégier ce dernier cépage.

Un léger sulfitage au moment de la mise en bouteilles est une pratique efficace pour élaborer des vins très peu sulfités sans défaut sensoriel majeur durant la première année de conservation.

En conclusion, une réduction de 50% des sulfites est possible. Aller au-delà, compte tenu du pH des vins et des risques d'altérations microbiologiques, peut entraîner des risques de pertes qualitatives, notamment pour les vins destinés à une certaine garde. Bien qu'utiles, les éventuelles alternatives compensatoires ne sont pas forcément suffisantes pour s'affranchir totalement de l'emploi de sulfites.

Contact pour en savoir plus : [nrichard@inter-rhône.com](mailto:nrichard@inter-rhône.com)



Impact du niveau de sulfitage sur le profil sensoriel des vins de Grenache. Source : InterRhône, 2012



## Cas des Vins rosés de Provence

### Quels sont les enjeux des sulfites dans les vins Rosés de Provence ?

Comme pour tous les vins, l'usage des sulfites contribue à maîtriser les éventuelles déviations microbiologiques et oxydations, ce qui garantit l'élégance et l'expression des Rosés de Provence. Leur emploi a également des effets sur la structure des polyphénols, ce qui impacte l'aspect visuel. Sur les vins Rosés, les nuances de couleur sont visibles à l'œil nu ; les changements de pratiques entraînent généralement des variations d'intensité et teinte de la robe des vins.

### Comment les sulfites influencent la couleur des vins ?

Dans les moûts et les vins, les sulfites libres réagissent avec les anthocyanes et les décolorent partiellement. La couleur rouge des rosés peut donc être tronquée. L'ajout d'éthanal dans un échantillon de moût permet d'accéder à la « vraie » couleur et ainsi ajuster les collages aux besoins dans le cas d'une extraction trop importante, par exemple.

Apportés sur vendange, les sulfites ont des conséquences antagonistes : d'une part, ils contribuent à l'extraction des polyphénols des pellicules vers le jus et d'autre part ils inactivent partiellement les

oxydases qui concourent à la dégradation des polyphénols. Supprimer les sulfites à ce stade, sans adaptation des pratiques, engendre des jus à la couleur moins intense avec des nuances plus orangées.

### Comment gérer les étapes préfermentaires ?

Les raisins de Syrah et Mourvèdre ont un fort potentiel en polyphénols alors que les pellicules de Grenache ou Cinsault en sont moins pourvues. Les quantités natives d'acides hydroxycinnamiques (composés oxydables) et de glutathion (peptide réduisant les boucles d'oxydation) sont également variables selon les cépages. Ainsi, la Syrah a une propension naturelle à donner des jus dont la couleur est rose franche ; au contraire les jus de Grenache ou de Cinsault sont beaucoup plus sensibles à l'oxydation. De même, le Merlot est réputé plus sensible que le Cabernet Sauvignon. Il est donc plus ou moins aisé selon les cépages de s'affranchir des sulfites en préfermentaire. Le refroidissement de la vendange et des jus ainsi que l'inertage limitent les oxydations et garantissent une couleur rose conforme. L'ajout d'acide ascorbique ou de glutathion (pratique non autorisée) peuvent également contribuer à limiter les effets des oxydases. L'apport de

tanins, en conditions expérimentales, n'a pas d'effet alors que les collages (60g/hl pois) sont favorables pour retrouver une couleur franche après fermentation alcoolique. Cependant, l'association - apport contrôlé d'oxygène et collage - ne permet pas d'éliminer tous les composés bruns, le vin est moins intense mais bien plus jaune.

### Des rosés sans sulfites, est-ce possible ?

En cours d'élevage, le risque est avant tout microbiologique, la fermentation malolactique n'étant pas recherchée. L'abaissement de la température, couplée avec l'usage du chitosane ou la mise en œuvre de filtrations « serrées », permet de maintenir l'intégrité des vins, en conditions expérimentales. En mettant en œuvre les bonnes pratiques de stockage (inertage, froid, CO<sub>2</sub> dissous) la couleur évolue raisonnablement, mais le profil sensoriel change des fruits frais vers des notes plus mûres. L'apport 1g/hl de SO<sub>2</sub> avant conditionnement permet de retrouver une expression plus conforme. Les vins rosés de Provence peu ou pas sulfités sont des vins fragiles dont l'expression peut se différencier des standards.

Contact pour en savoir plus :  
[matthias.bougreau@vignevin.com](mailto:matthias.bougreau@vignevin.com)



Expérimentations sur Syrah.  
Source : Centre du Rosé, 2011



Expérimentations sur Grenache.  
Source : Centre du Rosé, 2011

- 1 • Témoin = Pratiques de sulfitage standards (5g/hl en préfermentaire, 5 g/hl après FA, conditionnement à 30 mg/L SO<sub>2</sub> libre)
- 2 • ½ dose : tous les apports sont divisés par 2 sans adaptation des pratiques
- 3 • Réduction : tout l'itinéraire est adapté pour réduire d'au moins 50% la teneur finale en SO<sub>2</sub> total
- 4 • Zéro SO<sub>2</sub> : tout l'itinéraire est adapté et aucun sulfite n'est apporté



## Cas des Vins de Champagne

### Quelle démarche expérimentale pour réduire les sulfites dans les vins de Champagne ?

Les vins mousseux de qualité élaborés en bouteilles sont déjà pauvres en sulfites, préalable nécessaire à la réussite de la prise de mousse. La teneur moyenne en  $\text{SO}_2$  total des vins de Champagne est de l'ordre de 50 mg/L. Pour obtenir des vins dont la teneur résiduelle est inférieure à 30 mg/L, il est nécessaire de diviser par deux l'ajout de  $\text{SO}_2$  aux 3 étapes clés de l'itinéraire : le sulfitage au pressoir (3 à 4 g  $\text{SO}_2$ /hL), le réajustement en sulfites après fermentations (+10 mg  $\text{SO}_2$ /L) et le dégorgement (+ 7,5 mg  $\text{SO}_2$ /L avec jetting).

Une centaine d'expérimentations ont été menées sur cépages Chardonnay, Pinot noir et meunier, sur 5 millésimes, à l'échelle expérimentale puis industrielle.

### Quels sont les prérequis pour réussir ?

Conjointement à la réduction de 50% des apports en sulfites, toutes les mesures permettant de protéger les vins de l'oxygène pendant les étapes de transferts,

de stabilisation et de conservation en cuve jusqu'au tirage ont été mises en œuvre. La maîtrise de l'oxygène au tirage ne s'impose pas puisque les levures consomment la totalité de l'oxygène repris à cette étape. Néanmoins, le choix de la capsule est adapté avec l'utilisation d'une capsule ayant un taux de transfert d'oxygène (OTR) faible, compris entre 0,2 et 0,5 mg/bouteille/an. Au dégorgement, l'inertage par jetting est employé systématiquement. Ce bouchage sur mousse montante garantit l'inertage de l'espace de tête et l'homogénéité sensorielle entre les bouteilles d'une même cuvée. Malgré tout, le phénomène de désorption d'oxygène par le bouchage (OIR) nécessite d'ajouter entre 5 et 10 mg/L de  $\text{SO}_2$ .

### Quels sont les bénéfices obtenus ?

Sur le plan œnologique, l'itinéraire I2 présente des départs en fermentation alcoolique systématiquement plus rapides et sans latence. De même la fermentation malolactique induite par inoculation séquentielle se termine plus rapidement. Sur le plan analytique, les vins présentent à l'issue du dégorgement des teneurs en

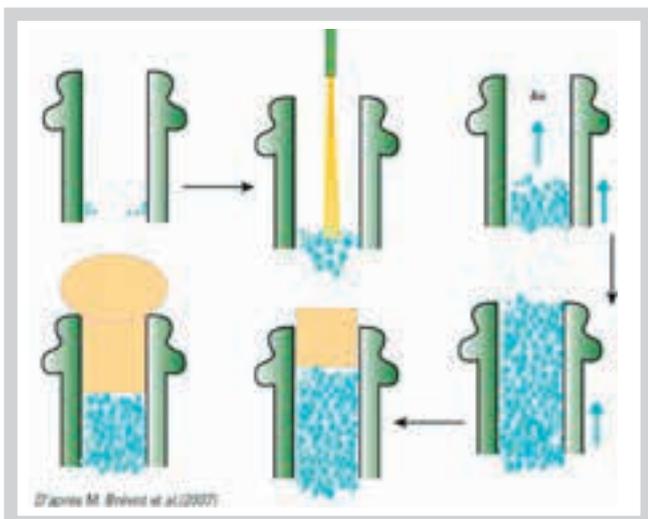
$\text{SO}_2$  total voisines ou inférieures à 30 mg/L avec une couleur un peu plus jaune.

Sur le plan sensoriel, la différence entre l'itinéraire 50% et l'itinéraire de référence n'est pas significative dans un cas sur deux. Quand les vins de l'itinéraire 50% sont perçus significativement différents, la réduction des sulfites favorise l'expression fruitée des vins de manière durable, des vins de base jusqu'au dégorgement.

### Peut-on aller plus loin avec I3 ou adapter l'itinéraire I2 ?

Concernant l'itinéraire « minimaliste » I3, la suppression totale des sulfites a provoqué l'apparition d'un caractère oxydatif aléatoire et réhibitoire. Elle est incompatible avec le transport des moûts. Cet itinéraire a été remplacé au profit d'une variante (I2 bis) : réduction de 50% des sulfites avec sulfitage différé, c'est-à-dire une protection tardive des jus à l'issue de l'écoulement. La conséquence est une oxydation partielle du moût. Il en résulte une meilleure efficacité des sulfites ajoutés.

**Contact pour en savoir plus :**  
[sylvie.collas@civc.fr](mailto:sylvie.collas@civc.fr)



Principe de fonctionnement du jetting. Projection d'une micro-goutte d'eau sulfitée à la surface du vin et bouchage sur mousse montante. Source : CIVC

### Les perspectives : procéder étapes par étapes, allier innovation et raison

Les travaux entrepris au cours de ces dernières années démontrent que des marges de progrès en termes de réduction des sulfites existent. Réduire les quantités de sulfites contenues dans les vins via une modification de l'itinéraire d'élaboration paraît être une stratégie opportune, assez facilement transposable en cave et adaptable aux différents contextes. Sur le plan opérationnel, ceci suppose de combiner une utilisation parcimonieuse du  $\text{SO}_2$  et une maîtrise sans faille de l'ensemble du process d'élaboration, opération de conditionnement comprise. Gestion des fermentations alcoolique et malolactique et contrôles des transferts d'oxygène constituent deux points critiques.

Pour autant, il convient de rappeler que la réduction des sulfites dans les vins est une entreprise ardue et complexe, compte tenu d'une part de la diversité des produits (cépage, appellation, compositions physico-chimiques et profils sensoriels convenus), d'autre part de la multitude des contextes de production (vignoble, type de cave, ...) et de commercialisation (basic

ou premium, circuit court ou export, ...). Par ailleurs, s'il est concevable de maîtriser les conditions d'élaboration et de stockage sur le lieu de production, en l'état actuel des circuits de distribution, ceci n'est pas le cas pour les phases de transport et de stockage avant la consommation effective du produit. Or, une réduction drastique des teneurs en sulfites dans les vins mis en marché supposera probablement des évolutions et garanties en la matière.

Finalement, pour préserver toute l'originalité des divers vins produits, il importe donc de procéder avec discernement, au cas par cas, en encourageant une remise en cause réaliste des pratiques pour certes garantir la légitime demande de vins moins sulfités.

Parallèlement, la production de vins sans sulfites constitue aussi une voie de diversification des produits, pour des marchés bien identifiés. Les vins ainsi élaborés méritent d'être considérés comme des produits nouveaux, ne répondant pas forcément aux critères d'évaluation habituels.



# Bibliographie

## Citations des revues bibliographiques

- Albertin, W., Miot-Sertier, C., Bely, M., Marullo, P., Coulon, J., Moine, V., Colonna-Ceccaldi, B., Masneuf-Pomarede, I. (2014). Oenological prefermentation practices strongly impact yeast population dynamics and alcoholic fermentation kinetics in Chardonnay grape must. *Int. J. of Food Microbiol.*, 178, 87-97.
- Albertin, W., Avramova, M., Cibrario, A., Ballestra, P., Dols-Lafargue, M., Curtin, C., Masneuf-Pomarede, I. (2017). *Brettanomyces bruxellensis* : diversité génétique et sensibilité aux sulfites. *Revue des Oenologues*, 163, 31-33.
- Andorrà, I., Landi, S., Mas, A., Guillamón, J.M., Esteve-Zarzoso, B. (2008). Effect of oenological practices on microbial populations using culture-independent techniques. *Food Microbiol.*, 25(7), 849-56.
- Carr, J.G., Davies, P.A., Sparks, A.H. (1976). The toxicity of sulphur dioxide towards certain lactic acid bacteria from fermented apple juice. *J. Appl. Bacteriol.*, 40(2), 201-12.
- Curtin, C., Kennedy, E., Henschke, P. A. (2012). Genotype-dependent sulphite tolerance of Australian *Dekkera* (*Brettanomyces*) *bruxellensis* wine isolates. *Applied Microbiology*, 55 (1), 56–61.
- Cheynier, V. F., Trousdale, E. K., Singleton, V. L., Salgues, M. J., & Wylde, R. (1986). Characterization of 2-S-glutathionyl caftaric acid and its hydrolysis in relation to grape wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 34, 217–221.
- Danilewicz, J. C. (2016). Reaction of Oxygen and Sulfite in Wine. *Am. J. Enol. Vitic.*, 67(1), 13-17.
- Danilewicz, J. C., & Standing M. J. (2018). Reaction mechanisms of oxygen and sulfite in red wine. *Am. J. Enol. Vitic.*, 69, 189-195.
- Divol, B., Miot-Sertier, C., Lonvaud-Funel, A. (2006). Genetic characterization of strains of *Saccharomyces cerevisiae* responsible for refermentation in Botrytis-affected wines. *J. Appl. Microbiol.*, 100(3), 516-526.
- Dubernet, M. (1974). Recherche sur la tyrosinase de *Vitis vinifera* et la laccase de *Botrytis cinerea*. Applications technologiques. *Thèse de doctorat, université de Bordeaux II*.
- Flanzy, C. (1998). Œnologie. Fondements scientifiques et technologiques. *Editions Lavoisier*. 368-370.
- Gambuti, A., Siani, T., Picariello, L., Rinaldi, A., Lisanti, M. T., Ugliano, M., Diéval, J. B., & Moio, L. (2017). Oxygen exposure of tannins-rich red wines during bottle aging. Influence on phenolics and color, astringency markers and sensory attributes. *Eur. Food Res. Technol.*, 243(4), 669-680.
- Han, G., Ugliano, M., Currie, B., Vidal, S., Diéval, J. B., & Waterhouse, A. L. (2014). Influence of closure, phenolic levels and microoxygenation on Cabernet Sauvignon wine composition after 5 years' bottle storage. *J. Sci. Food Agric.*, 95(1), 36-43.
- Lafon-Lafourcade, S., Lonvaud-Funel, A., Carre, E. (1983). Lactic acid bacteria of wines: stimulation of growth and malolactic fermentation. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 49(3),349-52.
- Li, H., Guo, A. & Wang, H. (2008). Mechanisms of oxidative browning of wine. *Food Chemistry*, 108, 1–13.
- Lisanti, M. T., Blaiotta, G, Nioi, C., Moio, L. (2019). Alternative Methods to SO2 for Microbiological Stabilization of Wine. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18 (2), 455-479.
- Nardi, T., Corich, V., Giacomini, A., Blondin, B. (2010). A sulphite-inducible form of the sulphite efflux gene SSU1 in a *Saccharomyces cerevisiae* wine yeast. *Microbiology*, 156, 1686-1696.
- Pascal, C., Diéval J. B., & Vidal S. (2019). Prédiction de l'évolution de la concentration en sulfites post-embouteillage et durée de vie des vins. *Revue des Œnologues*, 173, 55-57.
- Sire, Y., Doucot, S., Pull, M. J., Samson, A., Moutounet, M., & Salmon, J. M. (2016). Activité polyphénol-oxydase du raisin : influence de la température et de différentes opérations. *Revue des Œnologues*, 160, 38-40.
- Takahashi, M., Ohta, T., Masaki, K., Mizuno, A., Goto-Yamamoto, N. (2014). Evaluation of microbial diversity in sulfite-added and sulfite-free wine by culture-dependent and -independent methods. *J. Biosci. Bioeng.*, 117(5):569-75.
- Ugliano, M., Dieval, J. B., Siebert, T. E., Kwiatkowski, M., Aagaard, O., Vidal, S., & Waters E. J. (2012). Oxygen consumption and development of volatile sulfur compounds during bottle aging of two Shiraz wines. Influence of pre- and postbottling controlled oxygen exposure. *J. Agric. Food Chem.*, 60(35), 8561-8570.
- Vidal, J. C., Caillé, S., Samson, A., & Salmon, J. M. (2017). Impact of eight closures in controlled industrial conditions on the shelf life of two (red and rosé) wines. *OENO One*, 51(4), 381-386.
- Vigentini, I., Romano, A., Compagno, C., Merico, A., Molinari, F., Tirelli, A., Foschino, R., Volonterio, G. (2008). Physiological and oenological traits of different *Dekkera/Brettanomyces bruxellensis* strains under wine-model conditions. *FEMS Yeast Research*, 8 (7), 1087–96.
- Waterhouse, A. L., & Laurie, V. F. (2006). Oxidation of wine phenolics: A critical evaluation and hypotheses. *Am. J. Enol. Vitic.*, 57(3), 306–313.
- Waterhouse, A. L., Sacks, G. L., & Jeffery, D. W. (2016). Understanding Wine Chemistry. *Ed. John Wiley & Sons*.

# REMERCIEMENTS

LES DONNÉES PRÉSENTÉES SONT ISSUES DES TRAVAUX  
DES UNITÉS IFV ET DE LEUR COLLABORATION  
AVEC LES PARTENAIRES DE LA FILIÈRE

- **IFV** : Institut Français de la Vigne et du Vin
- **Inter Rhône**
- **Centre du Rosé**
- **CIVC** : Comité Interprofessionnel des Vins de Champagne
- **INRAE** : Institut National Recherche Agronomique et Environnementale
- **VBNA** : Syndicat des Vignerons Bio de Nouvelle Aquitaine
- **ISVV** : Institut des Sciences de la Vigne et du Vin

## POUR EN SAVOIR PLUS

- <https://www.vignevin.com>
- <https://www.vigneronsbionouvelleaquitaine.fr/>
- <https://www.isvv.u-bordeaux.fr/>
- <https://champagne.fr>
- <https://www.institut-rhodanien.com/>
- <https://centredurose.fr/>
- <https://www1.montpellier.inra.fr/pechrouge/index.php/fr/>

## CRÉDITS PHOTOS

Couverture : Auremar-Fotolia / Page 2 : Igor-Normann-AdobeStock / Page 3 : Fotolia / Page 8 : IFV / Page 10 : Fotolia / Page 11 : AdobeStock / Page 13 : Mark\_Borbely-AdobeStock / Page 14 : Auremar-Fotolia / Page 16 : Vinvention / Page 18 : AdobeStock / Page 19 : IFV / Page 20 : AdobeStock / Page 22 : Wladimir Bulgar-AdobeStock - F-Priou\_CA33 / Page 23 : IFV / Page 27 : AfricaStudio-AdobeStock / Page 28\_Sud-Ouest\_AdobeStock / Page 29 : Eleonore Horiot-AdobeStock / Page 30 : Dudlajzov-AdobeStock / Page 31 : Richard Semik-AdobeStock / Page 32 : Barmalini-AdobeStock / Page 33 : FreeProd-AdobeStock / Page 34 : Tom Merton-Koto-AdobeStock

INSTITUT FRANÇAIS  
DE LA VIGNE ET DU VIN

## ITINÉRAIRES N° 31

### Comité de rédaction :

IFV : F. Charrier, A. Camponovo, L. Cayla, P. Cottereau, B. Chatelet, V. Gerbaux, P. Poupault, E. Vinsonneau, R. Cailleau

INRAE : J.C. Vidal

InterRhône : N. Richard

CIVC : S. Collas, B. Villedey

VBNA : S. Becquet

AVEC LE SOUTIEN DE :



Union Européenne



RÉGION  
**Nouvelle-Aquitaine**



UNION EUROPÉENNE  
Fonds Européen Agricole  
pour le Développement Rural



FranceAgriMer

