

Comprendre les
phénomènes

Aspects pratiques



T° du vin	Solubilité max de l'O ₂
20°C	8,4 mg/L
0°C	12 mg/L

Source INRA Pech Rouge

Tantôt utile, tantôt néfaste, l'oxygène est un élément important à chaque étape de la vie du vin. Faisons ici un point sur les réactions entre l'oxygène et les composés des moûts ou des vins pour mieux comprendre les conséquences aromatiques, microbiologiques et chromatiques de ses réactions tout au long du processus d'élaboration. Au-delà des phénomènes seront détaillés les moyens d'apporter ou de se protéger de l'O₂ en fonction des objectifs souhaités. Un volet particulier est dédié au conditionnement.

Quand nous parlons de l'oxygène en interaction avec le vin, nous faisons référence à l'oxygène dissous, fraction en solution dans le liquide. Sa quantité est la résultante de deux phénomènes : sa dissolution et sa consommation.

O₂ dissous mesuré = O₂ dissous - O₂ consommé

1 LA DISSOLUTION

La dissolution est un phénomène de transfert d'oxygène de l'air (constitué à 21 % par ce gaz) au moût ou au vin. Il augmente avec :

- l'augmentation de la surface de contact exposée (effet sur la vitesse de transfert)
- l'augmentation de l'agitation ou brassage du liquide (idem)
- la diminution de la température du liquide (influence sur la solubilité de l'O₂, d'autant plus élevée que la température est basse).

Plus la température du vin est basse, plus la dissolution d'O₂ est importante.

2 LA CONSOMMATION

Au moment de sa dissolution, l'oxygène est dans son état moléculaire (O₂) et possède ainsi une structure qui limite sa réactivité. En revanche, une fois dissous, il réagit avec les métaux électro-actifs (fer et/ou cuivre) naturellement présents dans le moût et/ou le vin.

Ces réactions vont conduire à l'apparition des espèces réactives de l'oxygène (ROS).

Les ROS sont des molécules très réactives, elles catalyseront la cascade de réactions d'oxydation chimiques que nous allons décrire par la suite.

Le phénomène dit de consommation de l'oxygène peut être différencié en trois voies :

- **enzymatique** : voie active dans les moûts, elle est catalysée par les enzymes oxydoréductases des raisins et de certains agents pathogènes (*Botrytis cinerea*)
- **microbiologique** : voie correspondante aux besoins d'O₂ des levures *Saccharomyces cerevisiae* durant les fermentations, ainsi que son utilisation par d'autres micro-organismes
- **chimique** : voie présente pendant toute la vie du produit, représentée par la panoplie de réactions chimiques mettant en relation l'O₂ et les autres composants des moûts et des vins

1 La consommation enzymatique de l'O₂

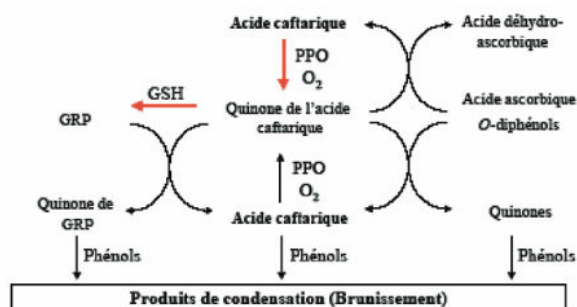
À la réception des moûts, la dissolution d'O₂ est presque inévitable. Elle se produit pendant la récolte, à la benne, lors de l'égrappage, du foulage, du pressurage, du pompage et/ou de l'encuvage.

Ces étapes provoquent également l'éclatement des cellules des baies et mettent ainsi en contact les composés phénoliques et l'enzyme polyphénol oxydase (PPO ou Tyrosinase, présentes naturellement dans les raisins) avec l'oxygène.

La Tyrosinase catalyse l'oxydation des acides hydroxycinnamiques (une des classes de polyphénols présentes dans le vin) en quinones. Les quinones sont des molécules très réactives. Elles sont par la suite à l'origine d'une cascade de réactions chimiques conduisant à l'oxydation de plusieurs composants du vin dans l'ordre suivant :

1. le SO₂ et/ou l'acide ascorbique ajoutés au moût
2. le glutathion (naturellement présent et/ou ajouté)
3. d'autres molécules d'acide hydroxycinnamique
4. d'autres polyphénols et des arômes primaires

Plus le moût est exposé à l'O₂, plus les réactions du point 4 s'amplifient. Apparaissent alors des produits de condensation des polyphénols qui participent au brunissement des moûts blancs et rosés et à la diminution du potentiel aromatique des futurs vins. Ces réactions d'oxydation continuent jusqu'à épuisement des substrats non oxydés et/ou de l'O₂.



Comprendre les
phénomènes

Aspects pratiques

FOCUS BOTRYTIS :

L'intensité de ces phénomènes est amplifiée dans le cas d'une vendange altérée par *Botrytis cinerea*. En effet, ce champignon synthétise une autre enzyme, la Laccase. Celle-ci catalyse également les réactions de brunissement et d'oxydation des molécules aromatiques décrites ci-dessus. De plus, elle a un spectre d'action plus important que celui de la Tyrosinase et peut être présente dans les moûts dans des concentrations très conséquentes en fonction de la souche de *Botrytis* et des conditions climatiques du millésime.

FOCUS GLUTATHION :

Le glutathion est un antioxydant naturellement présent dans les moûts en concentration variable selon les cépages, les « terroirs » et l'état nutritionnel des vignes. Son action antioxydante vient de sa propension à réagir avec les quinones. Cette réaction régénère la molécule initiale d'acide hydroxycinnamique et forme le Grape Reaction Product (GRP).

Si l'ajout du glutathion dans les moûts et les vins est interdit, il est possible d'en apporter par le biais de levures inactivées spécifiques (LIS) riches en glutathion. Cela représente un coût de vinification plus important mais peut avoir son intérêt pour les moûts de cépages aromatiques.

2 La consommation microbiologique de l'O₂**• Durant la fermentation alcoolique (FA)**

Saccharomyces cerevisiae, appartenant au groupe des micro-organismes Crabtree* positifs, n'utilise pas l'O₂ à des fins respiratoires en milieu fermentaire (concentration en sucres au-delà des 2 %).

L'oxygène est cependant une sorte de « nutriment » pour les levures en début de FA. Cet élément est fondamental pour la synthèse des composés lipidiques (stérols et acides gras insaturés à longue chaîne) qui sont des constituants fondamentaux de la membrane cellulaire. Ils renforcent sa stabilité structurale et régulent les échanges entre les cellules et le milieu. Nous les considérons comme des facteurs de survie pour les levures, notamment vis-à-vis de la toxicité causée par l'augmentation de la concentration en éthanol durant la fermentation alcoolique. Apporter de l'O₂ à un moût en fermentation est donc capital pour prévenir les arrêts de fermentation.

Les besoins des levures sont de l'ordre de 10 à 20 mg/L pour l'ensemble de la FA. En revanche, la synthèse lipidique se passe lors de la phase de croissance cellulaire, au premier quart de la fermentation. Les apports, aérations ou macro-oxygénation, doivent donc être réalisés à partir de la perte des 20 à 30 premiers points de densité, autour de 1080-1070 normalement.

A noter que pour la production des levures sèches actives (LSA), leur multiplication est réalisée en condition aérobie, ce qui enrichit naturellement leurs membranes en composants lipidiques. Cela n'exclut pas le besoin en O₂ en début de FA car les individus s'appauvrissent au fur et à mesure de la succession des générations en cuve.

Les oxygénations sont d'autant plus importantes quand nous travaillons avec des fermentations spontanées. En effet, les levures indigènes, dépourvues de ce surplus lipidique de base, sont hautement dépendantes de ce renforcement membranaire en début de FA.

• Après la fermentation alcoolique

Une fois la FA terminée, les cellules de levures mortes gardent un potentiel de consommation d'O₂. Quelques voies métaboliques restent actives et l'autolyse des membranes libère des composés susceptibles de réagir avec l'oxygène dissous (composés azotés, soufrés, acides aminés, peptides et protéines). La littérature cite une consommation de 3 à 11 µg/h d'O₂ durant les 5 premiers mois d'élevage.

Les lies sont ainsi qualifiées de réductrices et assurent une protection des vins contre l'oxydation. Elles peuvent en revanche être responsables d'arômes de réduction.

• Durant la fermentation malolactique

Les bactéries lactiques sont micro-aérophiles : elles peuvent survivre en absence d'O₂ et la fermentation de l'acide malique en acide lactique n'en est pas dépendante. Néanmoins, l'oxygène intervient au niveau du métabolisme de l'acide citrique dont les réactions produisent du diacétyle, molécule aux arômes beurrés, parfois recherchée pour certains vins blancs élevés sur lies. L'O₂ apporté par les barriques peut ainsi favoriser l'apparition de ces notes.

• Durant l'élevage

D'autres micro-organismes peuvent consommer l'oxygène pendant toute la durée de l'élevage :

Pour le développement des levures d'altération du genre *Brettanomyces*, l'O₂ n'est pas indispensable. Cependant, plusieurs études ont mis en évidence une stimulation de la croissance de leurs populations en présence d'oxygène dissous dans le vin. Les soutirages, l'ajout d'alternatifs bois (copeaux, staves), la micro-oxygénation et l'élevage en barrique apportent de l'O₂ dans différentes proportions. Ces opérations peuvent donc favoriser le développement de *Brettanomyces*.

Il existe également d'autres genres de levures non-*Saccharomyces* (*Pichia*, *Candida*, *Hansenula* et *Metschnikowia*) qui peuvent se développer à la surface d'un vin en présence d'O₂ (micro-organismes aérobies). Ce développement peut augmenter la teneur en éthanal (arômes d'évent) et/ou l'acidité volatile des vins. Dans le cas des vins de voile (vin jaune du Jura par exemple), le développement de ces levures est recherché. Leur métabolisme entraîne une oxydation ménagée qui apporte le caractère spécifique à ce type de vin.

Enfin, les bactéries acétiques, micro-organismes de la famille des *Acetobacter*, sont des aérobies strictes. L'O₂ est nécessaire à leur développement (cuves en vidange et/ou membranes de chapeaux flottants dégonflées). Elles altèrent le vin en produisant de l'acide acétique et de l'acétate d'éthyle à partir du glucose et de l'éthanol. D'où l'importance d'assurer les pleins et/ou l'étanchéité des contenants à partir de la fin de la fermentation alcoolique.

Comprendre les
phénomènes

Aspects pratiques

3 La consommation chimique de l'O₂

Cette voie de consommation regroupe l'ensemble des réactions chimiques auxquelles l'O₂ participe directement ou indirectement. Leur intensité, leur fréquence et leur effet dans le produit sont très variables en fonction de :

- la concentration des molécules et ions participant au potentiel d'oxydoréduction des vins (polyphénols, SO₂, acide ascorbique, fer et cuivre)
- la présence de lies
- la température : plus elle est élevée, plus la consommation de l'O₂ dissous est rapide
- l'exposition à l'air et la quantité d'O₂ dissous

Nous avons déjà commencé à exposer ces phénomènes d'oxydation chimiques quand nous avons évoqué la formation des quinones et les réactions de brunissement des moûts dans la partie 3.1. Sur moût, ces réactions sont catalysées par des enzymes mais durant l'élevage (que ce soit au chai ou en bouteilles), les polyphénols restent réactifs en présence d'O₂ et sont impliqués dans l'évolution chromatique, olfactive et gustative des vins.

Sur les vins blancs et rosés, ces réactions sont responsables de l'évolution de la teinte vers des tonalités plus dorées, orangées ou brunes, ainsi que de la diminution de l'éclat aromatique et l'apparition de nuances aromatiques oxydatives.

**LE PHÉNOMÈNE DE « PINKING »
OU DE ROSISSEMENT OXYDATIF :**

Dans certains cas, des réactions d'oxydation de polyphénols entraînent un rosissement oxydatif de vins blancs encore jeunes. Certains cépages comme le saignion, le viognier, le muscat sont plus sensibles à ce phénomène de rosissement. Ce phénomène dit de « pinking » est favorisé par la protection rigoureuse des moûts vis-à-vis de l'oxygène avant et pendant la vinification. Une oxydation maîtrisée des polyphénols en phase pré-fermentaire peut être recommandée pour limiter le rosissement en élevage ou à la mise. Des collages préventifs sont également recommandés en cas d'historique de pinking ou de test de rosissement positif. Une labofiche est consacrée à la description du test réalisé au laboratoire pour caractériser ce phénomène (LB03).

L'oxygène va jouer un rôle également très important dans l'évolution de la couleur et de la structure tannique des vins rouges pendant l'élevage. En effet, comme les polyphénols sont des molécules avec une propriété réductrice, ils ont une forte tendance à réagir avec l'O₂. Les tanins se lient naturellement les uns aux autres par réaction directe. Il s'avère qu'en s'oxydant, ils subissent un autre type de réaction de couplage et génèrent d'autres configurations de polymérisation. Le détail de

l'ensemble des réactions chimiques de polymérisation reste encore inconnu (elles sont très nombreuses) mais empiriquement, les effets positifs de l'élevage pour la diminution de la perception de l'astringence des vins sont connus depuis longtemps.

De plus, l'oxygène va permettre l'apparition d'autres molécules qui vont elles-mêmes réagir avec les polyphénols. Le cas le plus connu est celui de la polycondensation des tanins et des anthocyanes. Ce phénomène est exprimé par la liaison entre deux tanins, deux anthocyanes ou bien entre un tanin et une anthocyane à l'aide d'une molécule de fonction aldéhyde. La plus communément présente dans le vin étant l'acétaldéhyde (éthanal).

Cette liaison nommée pont éthyle est déterminante dans l'évolution de la couleur des vins : il se forme des molécules de couleur jaune (à partir de composés incolores) et une partie des anthocyanes se stabiliserait sur la forme colorée rouge. Il n'y a pas nécessairement stabilisation permanente des anthocyanes car les équilibres sont en constant réarrangement et la couleur des vins ne fait qu'évoluer. En revanche, dans le court et moyen terme, l'effet de l'intensification de la couleur d'un vin rouge en élevage sous oxygénation ménagée est avéré.

Le besoin en oxygène des vins

Le besoin en O₂ des vins est très variable en fonction de la couleur (rouge > blanc/rosé) et du profil (rouge de garde > rouge fruité > blanc de garde > blanc et rosé à rotation rapide). Néanmoins, leur capacité à dissoudre de l'oxygène est toujours plus importante que le besoin du vin.

Cela signifie que l'exposition des vins à des quantités importantes d'O₂ a des effets néfastes et irréversibles pour leur qualité : disparition de la couverture en SO₂ libre, apparition des notes d'évent (éthanal), assèchement de la bouche, déviations microbiologiques et évolution prématurée de la teinte et de l'aromatique.

Pour cette raison, la bonne gestion de l'oxygène de la réception des moûts jusqu'au conditionnement des vins est capitale pour atteindre les objectifs fixés pour chaque produit.

La partie suivante de la fiche détaille les aspects pratiques d'apport ou de protection vis-à-vis de l'O₂.

	Blanc	Rouge
Capacité à dissoudre l'O ₂	60 mg/L	800 à 1000 mg/L pour les vins de garde
Besoin en O ₂	3 mg/L	80 mg/L en moyenne

Source INRA Pech Rouge

T° du vin	Temps de consommation de l'O ₂ dissous (vin rouge saturé en O ₂)
13°C	25 jours
30°C	3 jours

Source INRA Pech Rouge

Comprendre les
phénomènes

Aspects pratiques

Comme en atteste les données de l'IFV de la région Occitanie, toutes les manipulations du vin conduisent à une dissolution d'O₂. Pour chacune d'elles, la fourchette de dissolution d'O₂ dissous est large. Cela témoigne de la variabilité du phénomène en fonction des conditions de mise en œuvre (matériel, température, etc.).

Opération	O ₂ dissous (mg/L)
Pompage	1 - 2
Transvasage	4 - 6
Soutirage sans aération	2 - 5
Soutirage avec aération	4 - 8
Ouillage	0,2 - 1
Filtration	3 - 6
Centrifugation	5 - 8
Mise en bouteilles	2 - 4
Elevage en cuve	< 0,1 par an

Source IFV Occitanie

RÉGLER LE DÉBIT DE GAZ :

Débit de gaz = 10 % du débit du vin
 10 L/min d'azote pour un pompage à 60 hL/h
 Débit de vin : 60 hL/h = 6000 L/h = 6000 / 60 = 100 L/min
 donc débit de gaz : 10 % x 100 L/min = 10 L/min

CHOIX DU GAZ :

L'azote permet le dégazage (souvent recherché avant conditionnement). Il permet également de « chasser » l'O₂ dissous dans le vin concerné.

Si l'objectif est de conserver du CO₂ dans les vins, l'utilisation de l'azote pur n'est pas adéquate. Mieux vaut utiliser des mélanges azote et CO₂. Le pourcentage de CO₂ dans le mélange doit être plus important lorsque les températures augmentent. Le CO₂ est à favoriser pour l'inertage d'une cuve. En effet, celui-ci est plus lourd que l'O₂.

1 INERTER

Qu'il s'agisse d'un soutirage, d'un transfert vers une cuve ou une citerne, d'une levée de colle, d'une filtration ou de toute autre manipulation, la limitation de la dissolution d'O₂ peut s'avérer nécessaire pour limiter les phénomènes d'oxydation précités. L'objectif étant une dissolution d'O₂ de l'ordre de 0,1 à 0,2 mg/L.

Rappel : il est d'autant plus important de limiter la dissolution d'O₂ en hiver lorsque les vins sont froids car leur capacité à dissoudre l'O₂ est maximale.

Inertier consiste à remplacer l'air (riche en oxygène) par un gaz dit « neutre » (Azote, CO₂ ou un mélange des deux) dans les contenants en contact avec le moût ou le vin.

• En pratique :

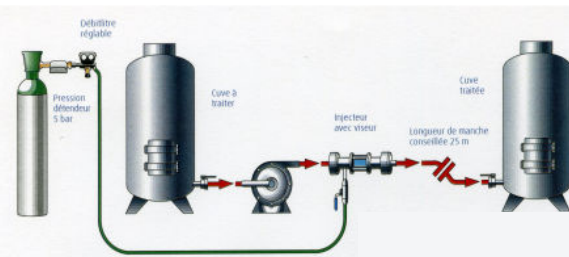
Mesures préventives fondamentales à respecter pour limiter la dissolution de gaz dans le vin :

- Monter un circuit le plus court possible particulièrement en entrée de la pompe (aspiration) avec des diamètres adaptés,
- Limiter les tuyaux souples, les raccords, les coudes et les remontées,
- Vérifier l'étanchéité des cuves et de la tuyauterie,
- Remplir la cuve de réception par le bas. Branchement à la vanne du bas ou s'il n'y a pas de vanne basse, plonger le tuyau d'arrivée du vin en bas de la cuve,
- Privilégier les pompes douces : choix de la pompe et débit modéré,
- En fin de pompage, ne pas faire barboter d'air (contenu dans le circuit) dans le vin. Pour cela, faire le plein par le haut et/ou souder le circuit en poussant au gaz neutre. Attention, pousser à l'eau peut entraîner des dilutions.

• Mise en œuvre de l'inertage :



- Saturer la cuve d'arrivée en CO₂ : préférer utiliser un tromblon à la sortie du tuyau de gaz pour injecter directement dans la cuve jusqu'à l'apparition d'un nuage de CO₂. *L'envoi de CO₂ avec un simple tuyau ne permet pas de chasser suffisamment l'air et ne limite pas suffisamment la teneur en O₂ de l'atmosphère de la cuve.* Ou utiliser le piquage du circuit pour inerte circuit + cuve
- Injecter du gaz inerte dans le circuit de pompage avant et en cours de pompage (schéma ci-dessous)
- Prévoir :
 - injecteur de gaz en sortie de pompe
 - détendeur avec débit-litre à la bouteille de gaz pour ajuster avec précision le débit de gaz injecté. Cela permettra une économie de gaz et évitera que le tuyau ne gèle trop rapidement



2 APPORTER DE L'OXYGÈNE

Pour réaliser un apport d'O₂, un simple soutirage avec ou sans aération peut être suffisant mais des outils ont été développés pour ajuster les apports en fonction des objectifs :

1 Cliquage pendant la fermentation alcoolique

C'est une phase au cours de laquelle les consommations microbiologiques et chimiques se superposent. Le besoin en O₂ est crucial à cette étape. Le cliquage permet d'apporter rapidement l'oxygène, sans mobiliser une pompe (facilité logistique et de nettoyage). Les besoins totaux des moûts en fermentation sont de 10 à 20 mg/L selon leur couleur et leur composition (source IFV). Si le vin est réduit, des apports complémentaires peuvent être envisagés. Préférer des apports fractionnés (2 x par jour sur 1 à 3 jours).

NB : les doses d'usage peuvent être exprimées en mL/L. 1 mg/L équivaut à 1,33 mL/L.

2 Technique de la micro-oxygénation

Par micro-oxygénation, des apports précis et ménagés d'O₂ peuvent être réalisés. Cette technique permet d'ajuster les apports à la consommation et ainsi d'éviter l'accumulation d'O₂ dans le vin. L'efficacité de la technique dépend de la concentration en polyphénols, de leur réactivité et de l'objectif recherché. La température du vin ne doit pas être inférieure à 16°C pendant la micro-oxygénation. La dégustation tout au long du traitement est importante afin d'adapter le dosage et/ou décider d'arrêter le traitement.

Comprendre les
phénomènes

Aspects pratiques

Les doses appliquées varient :

Étape	Objectif	Dose (ml/L/mois)	Remarque
Entre FA et FML (vin rouge non sulfité)	Favoriser la formation des complexes tanins-anthocyanes et augmenter la taille des chaînes de tanins polymérisés pour stabiliser la couleur et structurer les vins	10 à 30	En cas d'apparition de notes d'évent et/ou assèchement des tanins → baisser la dose ou arrêt
Élevage après FML (vin rouge sulfité)	Mimer la micro-oxygénation en fûts : renforcer le gras et la chair. Intégrer les arômes boisés (copeaux ou staves)	1 à 2	Pilotage à la dégustation. Dosage possible de l'O ₂ dissous pour s'assurer qu'il reste limité et stable

Source INRA Pech Rouge

3 INFLUENCE DES MATÉRIAUX SUR LE LIEN O₂ ET VINS DURANT ÉLEVAGE

A l'heure de démarrer les élevages des vins, se pose la question du type de contenant pour le stockage. Ce choix dépend du profil visé, du potentiel de garde, du volume de la cuvée.

Les contenants poreux aboutiront à une évolution plus rapide des vins et doivent être privilégiés pour les vins rouges structurés (et dans certains cas les blancs). Pour les vins plus simples dont on souhaite un profil peu évolué ou pour les vins dont l'élevage est terminé (en phase d'attente de mise en bouteilles), privilégier un contenant étanche à l'oxygène.

Les contenants étanches sont l'inox, le polyester, le béton et l'acier revêtus. A noter que les cuves à chapeaux flottants ou gardes-vins présentent une porosité au niveau de la chambre à air propice à la dissolution d'O₂.

Les contenants perméables sont le béton et le polyester bruts, le bois, la terre cuite et le grès (jarre ou amphore). Chacun de ces matériels présente une perméabilité à l'O₂ différente.

La porosité de la terre cuite est supérieure à celle du grès (lequel garde un profil plus réducteur d'élevage) mais il existe des variations en fonction de la nature des argiles de base et de la température de cuisson.

Les fûts de chêne permettent une oxydation ménagée en raison du passage de l'air par le trou de bonde (principalement) et par les pores du bois. La dissolution d'oxygène dans le cadre d'un élevage en barrique est influencée par :

- l'âge de la barrique : pour les barriques neuves, l'oxygénation est plus importante car s'ajoute le phénomène de désorption du bois (dissolution dans le vin de l'oxygène contenu dans le bois)
- la taille du contenant : en modifiant le rapport volume/surface d'échange
- la fréquence des ouillages : la dissolution d'O₂ augmente avec la fréquence des ouillages
- l'étanchéité de la bonde : silicone/bois, verticale ou inclinée

4 MAÎTRISER L'O₂ DISSOUS À L'ÉTAPE DU CONDITIONNEMENT

Le conditionnement mais aussi les étapes de préparation au conditionnement sont des étapes déterminantes pour les vins. En effet, elles supposent de multiples manipulations dans une phase où le profil organoleptique du vin est ajusté. Il n'a plus de besoin d'oxygène, il est donc important de limiter sa dissolution.

1 Lors de la préparation du vin :

Bien inalter les différents pompages et transports (y compris les citernes le cas échéant).

Des précautions particulières sont à prévoir lors de la filtration qui est une manipulation complexe et délicate (voir œnofiche 21).

Rappel des recommandations de base :

- privilégier le traitement de lots cohérents en volume
- choisir le média filtrant avec un seuil de rétention adapté (ne pas hésiter à préfiltrer avant de filtrer plus serré)
- travailler à pression faible et constante
- soigner la vidange du filtre

2 A la mise :

Au-delà des précautions déjà décrites concernant les manipulations de vins, rester attentif lors de la mise à :

- purger la palette de filtration finale
- soigner l'avinage de tout le circuit
- éliminer le volume d'avinage ou le réintégrer à la cuve initiale
- ajuster le débit de la pompe pour éviter les coups de bélier sur la tireuse
- éviter les arrêts de chaîne
- bien régler voire inalter l'espace de tête des bouteilles et le circuit de conditionnement
- préférer des systèmes de tirage permettant d'inalter les bouteilles ou les BIB avant remplissage
- limiter le volume du cône d'air pour les BIB

Comprendre les
phénomènes

Aspects pratiques

Des mesures d'oxygène dissous sont réalisables (et recommandées) le jour de la mise en bouteilles pour s'assurer que la dissolution d'O₂ à cette étape reste conforme à l'objectif visé. Cette précaution s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue du travail de cave. Elle peut également avoir lieu pendant l'élevage lors des mouvements de vins et/ou lors des opérations œnologiques (pompages, relogements, filtrations, stabilisations à froid, etc).

En élevage, nous devons avoir idéalement moins de 1 mg/L d'O₂ dissous dans les vins blancs, rosés et rouges légers, et jusqu'à 3 mg/L pour les vins rouges structurés en fonction de la période de la vie du vin. En bouteilles, nous visons moins de 1 mg/L d'O₂ dissous cumulé lors de la mise et des manipulations de préparation des vins.



MESURE DE L'OXYGÈNE DISSOUS :

La mesure de l'oxygène dissous est réalisée selon le principe de la luminescence. L'outil le plus utilisé est l'oxymètre : une sonde optique est introduite dans le moût ou le vin et donne une mesure instantanée.

Un autre type d'analyseur fonctionnant sur le même principe réalise des mesures en temps réel, au moyen de capteurs (pastilles) indépendants de l'appareil, positionnés sur un matériel translucide (manche, mireur, bouteille). Ce matériel est intéressant pour des mesures lors des manipulations ou pour suivre l'évolution de la teneur en O₂ dissous dans des vins conditionnés (au niveau du vin et/ou de l'espace de tête de la bouteille) de manière non destructive.

5 INFLUENCE DES MATERIAUX ET DES CONDITIONS DE MISE SUR L'ÉLEVAGE EN BOUTEILLES

Une fois embouteillé, le vin poursuit son évolution. L'oxygène en contact avec le vin conditionné provient :

- de l'air contenu dans l'espace de tête. C'est la source principale d'O₂ du point de vue quantitatif. Elle est intimement liée aux conditions de mise (inertage ou non de la bouteille, de la poche à BIB)
- de l'air contenu dans le bouchon. Il est relargué dans le vin durant les 6 premiers mois après la mise. Sa mesure est appelée OIR (oxygen initial release)
- de l'air qui traverse le bouchon. Ce phénomène a lieu après équilibrage des pressions et se passe pendant toute la vie du vin en bouteille. Le taux de transfert propre à chaque bouchon (ou type de bouchon) est appelé OTR (oxygen transfer rate)

NB : dans le cas de vins qui sont stockés longtemps, la fatigue mécanique du bouchon peut permettre la diffusion de l'oxygène par l'espace entre le bouchon et la paroi du col de la bouteille. Des prestations de rebouchage de vieux millésimes pour des cuvées à forte valorisation sont possibles.

Les différents types de bouchon ont des valeurs variables d'OIR et d'OTR. Les bouchons en liège naturel, compte tenu de la diversité morphologique des sources, ont des valeurs très variables pour ces deux paramètres. Cela veut dire que chaque bouteille aura une évolution potentiellement différente et que le développement du vin ne sera pas homogène au sein du même lot. Cela est d'autant plus vrai pour les bouchons liège bas de gamme.

Les fabricants d'obturateurs technologiques nous assurent des valeurs d'OTR homogènes pour les bouchons d'un modèle donné. Le vigneron peut ainsi réfléchir l'achat en intégrant le facteur style de vin et potentiel de garde. Le tableau suivant résume les caractéristiques des différents obturateurs.

Bouchons synthétiques	Bouchons agglomérés	Bouchons en liège naturel	Bouchons en verre	Capsules à vis
				
OTR varie en fonction de la densité de la mousse → à réserver aux vins à rotation rapide à moyenne selon la technologie et la porosité	OTR varie selon la taille des granules de liège agglomérés - Granulés de grosses tailles : création d'un vide avec des échanges gazeux importants → vins à rotation rapide (< à 6 mois) - Micro-agglomérés où le liège est broyé présentent moins de vide → rotation moyenne et vins de garde	OIR et OTR très variables : en fonction de la qualité et de l'homogénéité d'un lot. On parle de moyenne d'un lot → plus utilisés pour les vins à rotation moyenne et vins de garde. En fonction du marché, ce type de bouchage peut être exigé par les clients	OTR varie selon : - Le type de joint multicouche (jusqu'à 3 lames) - Le diamètre du goulot qui doit être parfaitement régulier → pose très délicate : à privilégier sur les vins à rotation rapide. Rosés : représentent 80% du marché	OTR selon le joint multicouche au centre de la capsule : - Joint Saranex → vins de durée de conservation moyenne - Joint SFE (Saran Film Etain) → vins de garde supérieure à 5 ans
OTR ~ 0,045 cm³/jour*	OTR ~ 0,001 à 0,040 cm³/jour*	OTR ~ 0,0005 à 0,010 cm³/jour* OIR peut dépasser les 10 mg/L d'O₂	OTR ~ 0,0075 à 0,0085 cm³/jour*	OTR ~ 0,00005 à 0,002 cm³/jour*

* OTR moyen indicatif en cm³/jour/bouchon/bouteille à l'air. (L'OTR dépend de la perméabilité du matériau de l'obturateur, de sa surface, de sa longueur et de la pression différentielle en O₂ de part et d'autre de l'obturateur).