



### QUEL EST LE RÔLE DE L'OXYGÈNE AU COURS DE L'ÉLEVAGE ?

L'élevage en fût est une étape indissociable de l'élaboration des vins de qualité. Les vins élevés sous bois présentent en fin d'élevage des propriétés organoleptiques reflétant à la fois une complexité et une originalité qui font leur personnalité. Deux phénomènes physico-chimiques concourent à l'aboutissement d'une telle évolution du vin : la solubilisation des composés volatils et non volatils du bois concomitante à la dissolution de l'oxygène de l'air dans le vin. En effet, le bois de chêne est un matériau poreux, perméable aux gaz, permettant les échanges avec l'air ambiant tout au long de l'élevage.

L'oxygène représente 21% de la composition de l'air. Il participe à de nombreuses réactions chimiques ou biochimiques à l'origine de l'évolution de la matière inerte et vivante. C'est, en quelque sorte, le moteur d'un bon nombre de phénomènes qui sont qualifiés d'oxydants en sa présence et de réducteurs en son absence. Aussi, dans les conditions normales et les plus fréquentes des chais, l'oxygène se retrouve impliqué dans toutes les étapes de l'élaboration des vins. L'oxygène et les phénomènes oxydatifs peuvent être des éléments favorables ou défavorables à l'évolution du vin en fonction de la maîtrise des apports qu'il est important d'évaluer.



### COMMENT SE FAIT L'APPORT D'OXYGÈNE AU COURS DE L'ÉLEVAGE ?

Il est communément admis que le transfert de l'oxygène de l'air vers le vin peut se réaliser de deux façons :

- **durant l'élevage en fût, hermétiquement fermé (bonde silicone, bonde frappée)**
- **provoqué par ses manipulations (ouverture de bonde, soutirages, etc.)**

On distingue ainsi un apport d'oxygène lent et progressif apporté par l'élevage en barrique, d'un transfert qui peut être brutal au cours des opérations de soutirage.

Les teneurs en oxygène apporté par un soutirage ou un ouillage sont très variables selon l'attention apportée lors de ces manipulations : la littérature œnologique indique **des teneurs en oxygène dissous comprises entre 0,1mg/L à plus de 5-6mg/L lors d'un soutirage.**

A l'inverse, compte tenu de la complexité des phénomènes mis en jeu, l'estimation des concentrations en oxygène apporté au cours d'un élevage en fût est toujours une source de questionnement. Le premier à avoir abordé ce champ d'investigation fut Ribéreau-Gayon, en 1931 : grâce à un procédé rudimentaire d'ouillage permanent d'une solution d'anhydride sulfureux, il établit que le transfert de l'oxygène de l'air à travers le bois était limité, puisque compris entre 2 et 5 ml d'oxygène par litre et par an. En revanche, **pour des fûts hermétiquement**

**fermés, l'oxygène qui pénètre est de l'ordre de 15 à 20ml/L/an.** C'est-à-dire que le simple contact passif vin-atmosphère via le bois ne suffit pas à expliquer les quantités d'oxygène observées en réalité.

Près de 60 ans plus tard, Vivas (Bordeaux) et Feuillat (Dijon), puis Moutounet (Montpellier) reprennent ces travaux tout en mettant l'accent sur d'autres aspects de cette problématique. L'origine du bois et sa structure anatomique (grain, densité, etc.) ont un effet important sur la cinétique du transfert d'oxygène au travers de la douelle. L'imprégnation du bois par le vin (cas des barriques réutilisées) ralentit la dissolution d'oxygène. L'herméticité de la bonde joue également un rôle important.



### COMMENT L'OXYGÈNE PEUT-IL SE SOLUBILISER DANS UN VIN ÉLEVÉ EN FÛT ?

Pour répondre à cette question il faut dissocier deux phénomènes physiques permettant tout d'abord à l'oxygène de pénétrer dans la barrique puis de se solubiliser dans le vin.

#### *Comment l'oxygène de l'air se retrouve-t-il à l'intérieur d'un fût hermétiquement fermé ?*

Lorsque le trou de bonde limite l'entrée d'air par cette voie, il se crée à l'intérieur de la barrique une dépression dont le niveau peut atteindre plus de 120mbar. Cette dépression se produit lorsque le vin est absorbé par le bois ou évaporé lors de l'élevage et que cette perte de volume n'est pas compensée directement par une entrée d'air. C'est pour cette raison que l'ouverture de la bonde s'accompagne systématiquement d'une entrée brusque d'air dans le ciel gazeux de la barrique. Plus la « consume » est intense et les ouillages espacés, plus la dépression est importante, occasionnant dans certains cas une perte d'herméticité des fûts.

La compensation de cette dépression va se faire par différents mécanismes :

- dégazage du vin : élimination du CO<sub>2</sub> produit au cours des fermentations
- pénétration de l'air à travers le bois imprégné par le vin : au niveau des douelles ou pièces de fonds, mais aussi des éléments de jonctions (interstices et jable)
- pénétration de l'air à travers le bois sec dans la partie qui n'est pas imbibée par le vin (ciel gazeux)
- microdéformation des fonds : déformation ou léger déplacement, créant ainsi des chemins préférentiels pour l'oxygène de l'air.

C'est pour cette raison qu'un ouillage régulier des barriques est souvent recommandé. Le contrôle de l'hygrométrie (80% HR) et de la température du chai (<18°C) sont des paramètres permettant de limiter considérablement la consume. A titre indicatif, pour un élevage de 10 mois en barrique neuve, les valeurs moyennes de consume mesurées dans un chai sont comprises entre 1 et 6 % par an. .../...

L'oxygène ayant pénétré à l'intérieur de la barrique est soit consommé par le vin soit retrouvé dans l'espace de tête afin d'équilibrer le système « évaporation / dépression / contraintes mécaniques ». Or, il a été démontré que le ciel gazeux est fortement appauvri en oxygène (compris entre 0 et 5 %), ce qui montre bien que la consommation par le vin est très rapide. L'ouverture du trou de bonde fait rentrer l'oxygène dans l'espace de tête, qui doit être alors « chassé » rapidement lors du remplissage du fût (ouillage).

## Comment l'oxygène se solubilise-t-il dans le vin ?

D'une manière générale, la cinétique de dissolution de l'oxygène dépend de sa concentration dans la phase liquide et dans la phase gazeuse, de la surface d'échange entre ces deux phases, de la nature du liquide (taux d'éthanol par exemple) et de la température. C'est en jouant sur ces paramètres, ainsi que sur le temps de contact entre le vin et l'oxygène, que l'on peut influencer sa dissolution dans le vin.

Les moyens de limiter le contact vin-oxygène et donc la dissolution de celui-ci lors des opérations de transfert, sont actuellement bien connus et nous pouvons citer par exemple :

- vérification de l'étanchéité des joints et des raccords
- attention portée à la présence d'émulsion
- utilisation de gaz inertes (dioxyde de carbone et azote, seuls ou en mélange) avant le remplissage des fûts



## COMMENT LE VIN RÉAGIT-IL AVEC L'OXYGÈNE ?

Dans les vins, l'oxygène se solubilise, puis il est progressivement consommé, de telle sorte qu'il ne représente pas un constituant stable pour les vins.

Les composés phénoliques sont les principaux substrats de l'oxydation, responsables de la consommation de l'oxygène dissous, mais les voies réactionnelles impliquées sont extrêmement complexes et restent encore bien souvent des suppositions.

La vitesse de consommation de l'oxygène dissous va ainsi dépendre du type de vin. Par exemple, il faut en moyenne 96 heures à un vin rouge et 15 jours à un vin blanc pour consommer 8mg/L d'oxygène dissous. Ces valeurs sont indicatives puisque la vitesse de consommation de l'oxygène dissous croît avec une augmentation de la température.

Les autres constituants du vin prenant part aux réactions d'oxydation sont les cations métalliques, les lies de levure, l'anhydride sulfureux, l'éthanol. Parmi ces composés on retrouve des catalyseurs d'oxydation, des antioxydants, des substrats prenant part aux mécanismes d'oxydation. Ainsi, lors d'un apport d'oxygène au vin, celui-ci accumule des oxydants intermédiaires, qui sont les formes directement actives sur ses constituants fragiles que sont les arômes.

La présence des lies lors de l'élevage en fût, systématique pour la plupart des vins blancs et fréquemment rencontrée pour les rouges, joue un rôle très important dans la cinétique de consommation de l'oxygène. Il a été démontré que les lies consomment l'oxygène plus rapidement que les constituants du vin et le protègent ainsi

de l'oxydation. La remise en suspension des lies par bâtonnage, à intervalles réguliers, permet de favoriser leurs actions ; toutefois, il convient de faire attention à l'entrée d'oxygène provoquée lors de l'ouverture du fût pendant l'opération.



## EN SYNTHÈSE, QUELS SONT LES PRINCIPAUX FACTEURS AFFECTANT LE TRANSFERT DE L'OXYGÈNE DANS LES VINS ?

Les principaux facteurs influençant la dissolution de l'oxygène dans le vin au cours de l'élevage en fût sont les suivants :

- âge et propriétés mécaniques du fût
- anatomie du bois
- fréquence des soutirages
- utilisation des gaz inertes
- fréquence des ouillages
- choix de la bonde
- contrôle de la température et de l'hygrométrie du chai.



## QUELS SONT LES EFFETS DE LA DISSOLUTION D'OXYGÈNE DANS LES VINS ?

Comme mentionné auparavant, les effets peuvent être positifs ou négatifs. Parmi les effets positifs, nous pouvons citer l'élimination des odeurs réduites provenant du métabolisme levurien, l'évolution de la teinte des vins rouges, la participation à des réactions avec les tanins du vin et la diminution de l'astringence.

Néanmoins, lorsqu'il est présent en trop grande quantité, l'oxygène peut être préjudiciable à la qualité des vins durant leur élevage. Il est à l'origine de phénomènes chimiques se traduisant tout d'abord par une perte des arômes fruités du vin jeune au profit de sensations plus lourdes rappelant le miel et la cire pour les vins blancs, le pruneau et la figue pour les vins rouges. Cette évolution irréversible de l'arôme du vin s'accompagne systématiquement d'une évolution de la couleur : vers des nuances orangées pour les vins rouges ou des teintes jaunemiel pour les vins blancs.

L'apport d'oxygène peut donc être bénéfique à la seule condition qu'il soit maîtrisé et contrôlé rigoureusement. La dégustation reste un outil indispensable au suivi de la bonne évolution des vins et de leurs éventuels besoins en oxygène.



## COMMENT MESURER LA PRÉSENCE D'OXYGÈNE DANS LES VINS ? QUE MESURE-T-ON RÉELLEMENT ?

Compte tenu de l'importance des phénomènes de dissolution et de consommation de l'oxygène, il est important de préciser que le paramètre mesuré par les appareils correspond uniquement à la teneur en « oxygène dissous ». En effet, l'oxygène déjà consommé n'est pas comptabilisé dans ce taux.

Il n'existe aujourd'hui pas de méthode qui permette de mesurer directement la quantité d'oxygène consommée. Cela peut se faire en faisant le bilan de tous les apports de l'oxygène pendant la vie du vin, cette valeur restant bien sûr approximative. .../...

.../...

Une autre approche correspond au suivi des marqueurs chimiques, c'est-à-dire au dosage des composés, qui sont produit ou dégradés sous l'action des phénomènes oxydatifs. Ainsi, le dosage de ces composés nous permet d'apprécier la présence d'oxygène dissous et des phénomènes oxydatifs qui en découlent. L'exemple classique d'un tel marqueur est le SO<sub>2</sub>.



### QUELS SONT LES APPAREILS DE MESURE ?

Deux techniques d'analyse de l'oxygène dissous sont aujourd'hui disponibles. Elles sont basées sur des mesures électrochimiques ou optiques. Les électrodes à oxygène (sondes optiques) disponibles sur le marché sont aujourd'hui pour la plupart conçues et adaptées aux contraintes inhérentes à un usage au chai et en conditions de vinifications.

Caractéristiques techniques de quelques sondes utilisées dans les chais et les laboratoires d'œnologie :

Principe	ELECTROCHIMIQUE		OPTIQUE	
	TriOxmatic 700IQ	Orbisphère 311	LDO HQ30	Presens PSt3
Limite de quantification	0 à 20 mg/L	0,0001 à 20 mg/L	0 à 20 mg/L	0 à 45 mg/L
Mesure de traces	NON	OUI	NON	OUI
Interférences	CO <sub>2</sub>	FAIBLES	NON	NON
Agitation au niveau de la membrane	OUI	OUI	NON	NON
Commentaires	Etre attentif à l'entretien de la sonde	Robuste et très sensible	Adaptée à une utilisation au chai	Mesure non invasive
Prix indicatif (Euros)	< 1000	> 10 000	> 1000	> 10 000

Les sondes TriOxmatic et LDO HQ30 sont retrouvées principalement dans les chais. Les deux autres sont plutôt réservées à un usage en laboratoire.

La sonde optique LDO HQ30 présente l'avantage de corriger automatiquement les mesures en fonction de la température, de la pression, et de la salinité du milieu. De plus, contrairement aux méthodes électrochimiques classiques, aucun étalonnage n'est requis, la mesure ne consomme pas l'O<sub>2</sub> donc ne nécessite pas d'agitation, et les composants de la sonde ne sont pas sensibles à l'encrassement et donc pas sujets à dérive.



### QUELLES SONT LES RECHERCHES EN COURS ?

En collaboration avec la Faculté d'Oenologie de Bordeaux, notre équipe de chercheurs a travaillé sur la thématique du vieillissement prématuré des vins rouges. **Fruit de plusieurs années de recherche, nous avons identifié pour la première fois un marqueur olfactif de l'évolution oxydative des vins rouges. Il s'agit d'une dicétone : la 3-méthyl-2,4-nonanedione, dont l'odeur rappelle le noyau de pruneau.**

De nombreux travaux sont en cours afin d'évaluer l'incidence des modalités d'élevage des vins sur la formation de ce composé. La recherche de ses précurseurs fait également partie des priorités. Enfin, la connaissance d'un marqueur de l'évolution oxydative des vins rouges devrait nous permettre, dans un futur proche, d'avancer dans la connaissance des facteurs physico-chimiques régissant l'aptitude au vieillissement des vins rouges.



### POUR ALLER PLUS LOIN

« Oxygène et Vins : du rôle de l'oxygène à la technique de micro-oxygénation » de A. B. Bartolini, Parsec Editions, 2008.

« L'élevage des vins », numéro hors série du Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 2002.

« L'oxygène dissous dans les vins » de M. Moutounet et J.P. Mazauric, 2001, Revue Française d'Oenologie n° 186, pages 12-15.



### BIBLIOGRAPHIE

1. Feuillat F., Perrin J.R., Keller R., 1994 Simulation expérimentale de « l'interface tonneau ». Mesure des cinétiques d'imprégnation du liquide dans le bois et d'évaporation de surface. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 28, 3, 227-245.

2. Moutounet M., Mazuric J.P., Saint-Pierre B., Hanocq J.F., 1998, Echanges gazeux des vins logés en barriques. J. Sci. Tech. Tonnelerie, 4, 115-129.

3. Ribéreau-Gayon J., 1931, Contribution à l'étude des oxydations et réductions dans les vins. Thèse, Université de Bordeaux.

4. Vivas N., Debeda H., Menil F., Vivas de Gaulejac N., Nonier M.F., 2003, Mise en évidence du passage de l'oxygène à travers les douelles constituant les barriques par l'utilisation d'un dispositif original de mesure de porosité du bois. Premiers résultats. Sci. Alim., 23, 655-678.