

# Oxygène et barriques

## Actualisation des connaissances

### Quantité et voies de pénétration de l'oxygène dans la barrique

Ignacio Nevares Domínguez, María del Álamo-Sanza

Université de Valladolid, UVaMOX, École technique supérieure d'ingénierie agricole – Palencia – Espagne.

#### Contexte

L'œnologue choisit la barrique qui convient le mieux au vin qu'il a à élaborer. La plupart du temps, le choix du type de chêne, de barrique et du niveau de chauffe repose sur des critères subjectifs comme les résultats obtenus sur des vins de millésimes antérieurs et les conseils glanés auprès des tonneliers ou d'autres œnologues. De nombreux travaux ont déjà été réalisés sur la description des caractéristiques aromatiques et sensorielles des vins élevés en barriques, fabriquées à partir de bois d'origines et de niveaux de chauffe différents. Cependant, peu d'études concernent directement les quantités d'oxygène transférées au vin par la barrique.

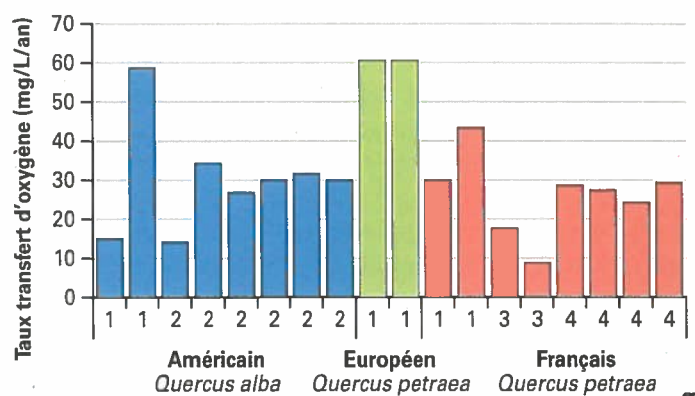
Ce paramètre est pourtant essentiel car une fois la barrique assemblée, il conditionnera les processus de vieillissement. Les recherches

de Ribéreau-Gayon en 1931 (*Ribéreau-Gayon, 1933*) et les derniers travaux de Vivas et al., 1997 (*Vivas & Glories, 1997*) ont permis de constater et de décrire le phénomène selon lequel l'oxygène pénétrait effectivement à l'intérieur de la barrique. Même si seulement deux fûts y ont été analysés, ces études sont les seules mesurant la quantité d'oxygène pénétrant dans la barrique par chacune des voies de transfert possibles.

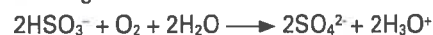
#### Quelle quantité d'oxygène pénètre dans la barrique ?

Une barrique de chêne est un contenant perméable à l'oxygène, caractéristique qui définit les processus de vieillissement s'y déroulant. Ribéreau-Gayon en 1931 (*Ribéreau-Gayon, 1933*) a estimé les quantités d'oxygène qui pénètrent dans une barrique en mesurant la formation

■ **Figure 2: Résultat de la mesure de transfert d'oxygène total dans 18 barriques neuves différentes (4 tonnelleries).**



de  $\text{SO}_4^{2-}$  dans des fûts remplis d'une solution aqueuse de  $\text{SO}_2$  à 200 mg/L :

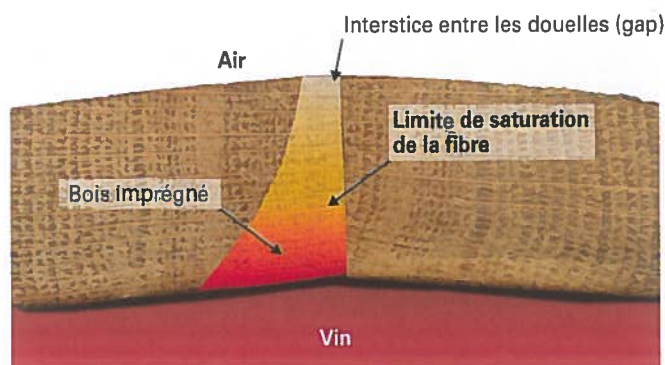


Il a ainsi pu déterminer que la quantité d'oxygène qui rentre dans une barrique fermée de manière étanche variait de 15 à 20 ml/L/an. Dans le cas d'une barrique non fermée hermétiquement, ces quantités différaient en fonction de la période de l'année, de 0,7 ml d'oxygène/L/an au printemps à 3,3 ml/L/an en automne. Par la suite, Frolov-Bagree (1951) a observé une diminution du transfert d'oxygène en fonction du nombre d'utilisations de la barrique, conclusion par ailleurs corroborée par les travaux de Prillinger (1965): un taux de 40 ml/L la première année, puis de 30 ml/L la seconde et de 2,7 à 8 ml/L/an les années suivantes. Ces mêmes auteurs indiquent que la plus grande partie de l'oxygène disponible dans le vin élevé en barrique est la résultante de procédés d'oxygénation antérieurs, survenus au cours de la vinification (pompage, soutirage, ouillage).

En 1995, Singleton (*Singleton, 1995*) a affirmé que l'oxygène pénétrait dans la barrique uniquement à travers le bois sec et non via le bois humide. Cet auteur explique que si le bois est humide, imprégné de vin, alors il ne laisse pas l'oxygène accéder jusqu'au vin (*figure 1*).

Entre 1993 et 1995, Vivas et Glories (*Vivas, 1995; Vivas & Glories, 1993*) ont réalisé une série de travaux sur les niveaux d'oxygène dissous (OD) des vins élevés en barriques. Ils ont ainsi montré que dans des barriques neuves, le vin contenait 0,3 mg/L contre au maximum 0,1 mg/L dans des barriques usagées, ce qu'ils ont justifié par le colmatage des pores du bois au cours du temps, par la précipitation de tartre et de matière colorante. Ils ont également mis en évidence que la quantité d'OD du vin à l'intérieur

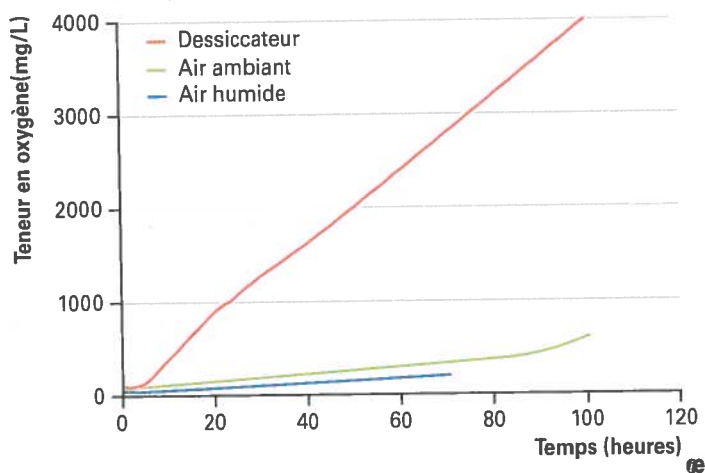
■ **Figure 1: Simulation du transfert de l'oxygène à travers le bois sec et humide des douelles (adapté de Singleton, 1995).**



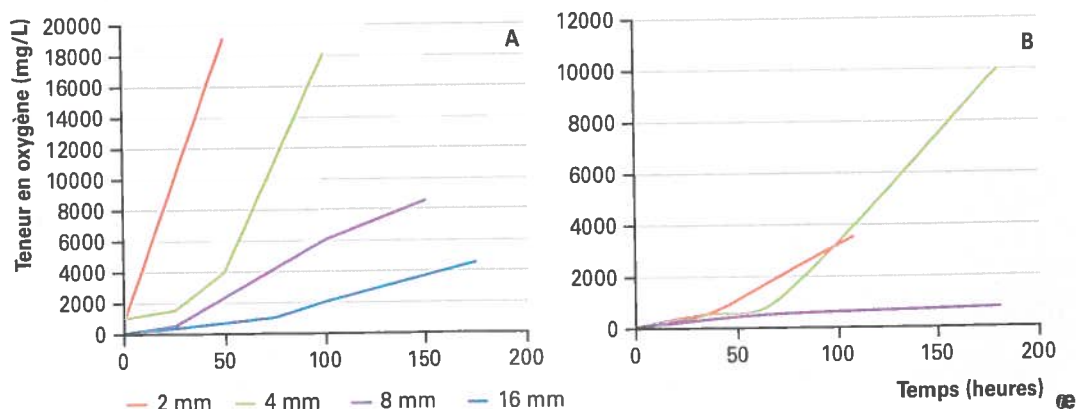
de la barrique variait en fonction du point de mesure et de la distance par rapport à la bonde pour toutes les barriques étudiées qu'il s'agisse de barriques d'un, de trois ou quatre vins. Celle-ci variait de moins de 0,2 ml/L au fond de la barrique à 0,8 mg/l pour la mesure effectuée à 10 cm de la bonde.

En 1997, ces mêmes chercheurs ont analysé la quantité d'oxygène qui pénétrait dans différentes barriques. Ils ont ainsi pu mesurer dans des barriques neuves du Limousin, des taux de transfert d'oxygène de  $19,5 \pm 1,5$  mg/L/an et dans des barriques du Centre de la France, des valeurs de  $28,0 \pm 1,0$  mg/L/an. Ils ont également mis en évidence que le mode de fermeture de la barrique impactait le taux de transfert d'oxygène. Pour une bonde en bois, la quantité d'oxygène entrante variait de 8 mg/L/an (en position bonde vers le haut) à 36 mg/L (en position bonde sur le côté). Pour une bonde en silicone (qui d'habitude génère une fermeture hermétique) la quantité relevée fut plus élevée, jusqu'à 45 mg/L/an. Récemment, l'équipe UVaMOX de l'Université de Valladolid a évalué le taux de perméabilité à l'oxygène de différentes barriques (figure 2). Pour cela, un système non-invasif et non-destructif de mesure a été mis en œuvre. Celui-ci consiste à insérer par le trou de bonde des sondes luminescentes de mesure d'oxygène dissous. Ces sondes permettent de connaître les quantités d'oxygène dissous présentes dans un vin synthétique (dissolution aqueuse) ne consommant pas d'oxygène. Selon González et al., (2013), cette technique permet d'évaluer le taux de transfert de l'oxygène dans la barrique. Les travaux menés par Vivas et ses collègues en 2003 (Vivas, Debèda, Ménil, Vivas de Gaulejac & Nonier,

■ **Figure 3: Effet de l'humidité sur la perméabilité à l'oxygène de morceaux de bois de 2 mm stockés dans des conditions différentes** (adapté de Vivas et al., 2003).

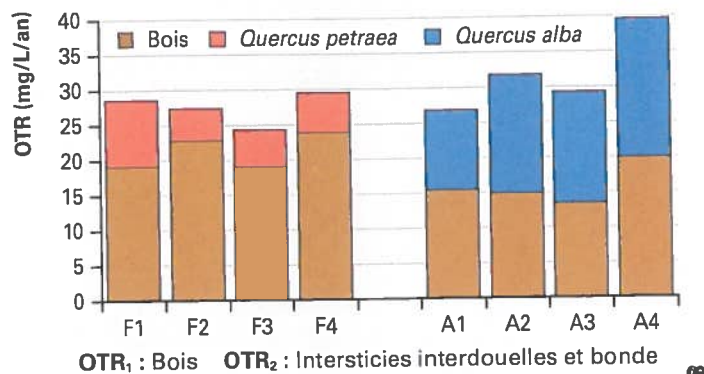


■ **Figure 4: Impact de l'épaisseur de la douelle et du grain sur la perméabilité à l'oxygène du bois de chêne: A: grain serré - B: grain moyen** (adapté de Vivas et al., 2003).



■ **Figure 5: Mesure du taux de transfert d'oxygène (OTR) par le bois (en marron) et par la fraction constituée de la bonde et des interstices entre les douelles.**

■ Barriques de chêne français ■ Barriques de chêne américain



2003) ont mis en lumière que la quantité d'oxygène à diffuser à travers le bois, dépendait de son grain, de son épaisseur mais également des conditions d'humidité lors de son stockage. Ces auteurs ont travaillé avec des morceaux de bois de 2 mm et ils ont montré que le bois sec était beaucoup plus poreux que le bois humide. En fonction du niveau d'humidité des perméabilités de 20 à 100 fois supérieures ont été mises en évidence (figure 3). Par ailleurs, ils ont pu constater que plus le bois était épais et plus son taux de transfert d'oxygène était faible. Ainsi, un bois sec de 16 mm d'épaisseur laisse passer moins de 50 mg/L d'oxygène en 50 heures, contre 20 g/L pour un bois de 2 mm d'épaisseur. Au cours de ces expérimentations, ils ont également montré que les bois au grain fin étaient plus perméables

à l'oxygène que les bois au grain plus grossier (figure 4 A, figure 4 B).

Il est important de signaler que ces expérimentations ont été menées dans des conditions très éloignées des conditions réelles de mise en œuvre des barriques. Le flux d'oxygène y a été évalué sur du bois disposé entre deux phases gazeuses alors que dans des conditions normales d'utilisation, le bois des douelles est en contact avec l'air par l'une de ses faces et avec le vin sur la face chauffée.

À la même période, d'autres auteurs (Kelly & Wollan, 2003) ont émis l'hypothèse que le bois se comportait comme une membrane semi-perméable aux gaz et que par conséquent, la quantité d'oxygène à diffuser pouvait être calculée en utilisant la loi de diffusion de Fick ( $dV/dt = K.d[V]/dx$ ). Selon cette hypothèse, le flux de gaz dépendrait ainsi de la perméabilité du bois à ces gaz, de la différence de concentration de ces gaz entre l'intérieur et l'extérieur du bois et de l'épaisseur de ce dernier.

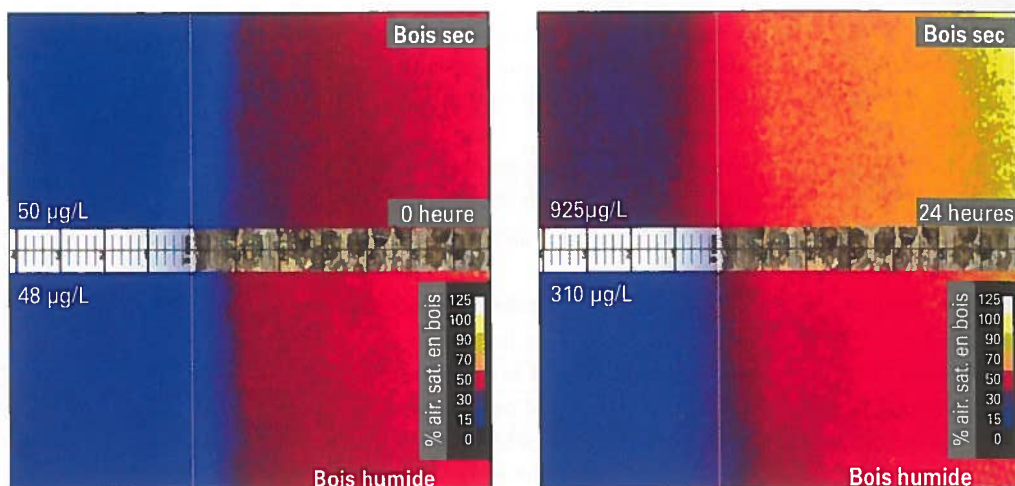
Comme nous pouvons le constater, les travaux publiés à ce jour, reposent sur des expérimentations réalisées dans des conditions expérimentales très éloignées des conditions réelles où le bois est en contact avec l'air par l'une de ses faces et avec le vin par sa face chauffée.

## Quelles sont les voies de pénétration de l'oxygène dans la barrique ?

Les seuls travaux sur les quantités d'oxygène pénétrant par les différentes « portes d'entrée » d'une barrique ont été réalisés par Vivas et Glories en 1997. Ces auteurs ont quantifié dans deux barriques neuves de chêne français et de grain très fin les transferts d'oxygène par 3 voies d'accès différentes. Pour cela, ils ont analysé l'oxygène dissous accumulé pendant 6 mois selon la méthodologie décrite par Ribéreau-Gayon (1933). Ils ont ainsi mis en évidence que 21 % de l'oxygène total pénétrait par la bonde, 63 % par l'interstice entre les douelles et 16 % par le bois lui-même. L'équipe UVaMOX de l'Université de Valladolid a estimé sur 8 barriques différentes, fournies par 2 tonnelleres, le transfert d'oxygène par le bois et par une fraction constituée de la bonde et des interstices entre les douelles (Del Alamo et al., 2013).

La **figure 5** montre que l'entrée totale d'oxygène dans les barriques de chêne américain est semblable à celle des barriques de chêne français. En analysant uniquement les transferts par le bois, on peut clairement observer que

■ **Figure 7 :** Comparaison de la distribution spatiale de la concentration en oxygène dissous d'un bois sec et d'un bois humecté pendant 2 jours, à deux stades de déroulement de l'essai (0 et 24 heures).



le chêne français laisse passer davantage d'oxygène que le chêne américain.

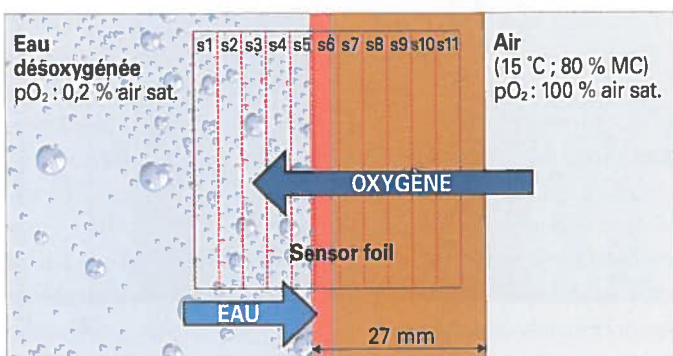
De plus, on peut constater que l'assemblage des douelles est un paramètre essentiel pour étudier l'OTR des barriques de chêne. Ainsi dans le cas de fûts de chêne américain, la quantité d'oxygène pénétrant via la fraction constituée de l'interstice entre les douelles et du trou de bonde représente 50 % du total, valeur équivalente à celle du bois. Dans le cas des barriques de chêne français, l'apport via le bois représente 75 % de l'oxygène total reçu par le vin.

Ces résultats nous montrent que l'oxygène pénètre effectivement via le bois, depuis l'extérieur vers l'intérieur de

la barrique jusqu'au vin. C'est dans ce sens qu'ont été publiés récemment des résultats de visualisation du transfert d'oxygène (Nevares et al., 2014). Ceux-ci ont été obtenus en utilisant un dispositif reproduisant fidèlement les conditions d'élevage en barriques (Del Alamo Sanza M. & Nevares I., 2012) et permettant d'évaluer la perméabilité à l'oxygène d'un bois en contact avec l'air par l'une de ces faces et avec un liquide par sa face toastée (**figure 6**).

L'oxygène dissous arrivant au liquide a été mesuré grâce à un capteur disposé à l'intérieur de la caméra.

■ **Figure 6 :** Dispositif utilisé pour la mesure du taux de transfert d'oxygène par le bois en conditions de vieillissement. Positionnement du capteur (divisé en 12 sections) afin de quantifier l'oxygène dissous dans le bois et dans le liquide à son contact.



**OENOFRANCE**  
www.oenofrance.com

## La Raffinée

La complexité et le fruité pour vos vins rouges

- Grande finesse aromatique
- Permet de diminuer les notes végétales
- Recommandée pour les cépages Merlot, Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon récoltés avec une faible maturité

by SOFRA LAB

79, av. A. A. Thévenet - CS 11031 - 51530 MAGENTA - France - Tél. : +33 3 26 51 29 30 - Fax : +33 3 26 51 87 60

Un système innovant de visualisation de l'oxygène dissous (OD) a été mis en œuvre. Celui-ci est constitué de capteurs luminescents de grande taille (sensor foil) agissant comme des indicateurs sensibles de la quantité d'oxygène. Ces capteurs sont associés à une caméra numérique qui enregistre leurs signaux. Ce système a la capacité de capturer des images avec distribution superficielle de l'oxygène dissous.

Son utilisation a permis de visualiser et de quantifier les niveaux d'oxygène dissous et les mouvements de gaz depuis l'extérieur de la douelle jusqu'à l'intérieur de la barrique à différents stades du processus.

La **figure 7** permet d'observer la différence de distribution de l'oxygène dissous dans le bois sec et humide. La lecture du capteur mesurant l'oxygène dissous accumulé dans le liquide, nous indique le plus grand et le plus faible transfert d'oxygène par le bois au cours du temps. Après 24 heures d'expérimentation, le bois humecté au préalable pendant 2 jours s'avère presque 3 fois moins perméable à l'oxygène que le bois sec.

La quantification de l'oxygène dans les différentes zones du capteur, depuis sa concentration dans l'eau en passant par le bois, nous a permis de connaître la teneur en oxygène moyenne dans chacune de ces sections et de déterminer ainsi le profil moyen d'oxygène à l'intérieur de la douelle dans des conditions réelles d'utilisation d'une barrique.

Les résultats obtenus dans chacune des 12 sections du capteur ont été représentés à deux stades de déroulement de l'essai (0 h et 24 heures) avec un bois sec (**figure 8 A**), avec un bois humecté pendant 48 heures (**figure 8 B**), 7 jours (**figure 8 C**) et 40 jours (**figure 8 D**).

Les observations réalisées 24 heures après le début de la manipulation mettent en évidence une augmentation du niveau d'oxygène dissous dans le liquide et dans l'interface bois liquide. Cette augmentation est d'autant plus prononcée pour le bois sec. On peut également constater que le bois humecté pendant 40 jours est perméable à l'oxygène au début de l'essai et qu'il le demeure pendant 11 jours. Cela signifie que Singleton (1995), dont l'hypothèse reposait sur une perméabilité faible voire nulle du bois de chêne humide à l'oxygène, a sous-estimé la perméabilité réelle mesurée grâce aux techniques actuelles de suivi de l'oxygène dissous basées sur la photoluminescence.

## Conclusion

Ces résultats montrent qu'au cours du vieillissement des vins, la perte de perméabilité à l'oxygène du bois de chêne des barriques est non seulement due à l'imprégnation et à l'obstruction des pores du bois par précipitation de sels et de matière colorante mais aussi que le niveau d'humidité du bois joue un rôle clé en ralentissant la diffusion de l'oxygène à l'intérieur de la douelle. En définitif, l'oxygène pénètre par le bois jusqu'à l'intérieur de la barrique au cours de l'ensemble du processus de vieillissement. Ce phénomène conjugué à la diffusion des composés du bois vers le vin, définit les caractéristiques des vins vieillissants en barriques. ■

**Remerciements:** Les auteurs remercient le financement de la Junta de Castilla y León en Espagne (projet référence VA086A11-2) et le ministère espagnol des Sciences et Innovation (Projet référence AGL2011-26931).

**NDLR:** Les références bibliographiques concernant cet article sont disponibles sur simple demande auprès de la Revue des Œnologues.

- Par courrier: joindre une enveloppe affranchie, avec les références de l'article  
- Sur internet: [www.oeno.tm.fr](http://www.oeno.tm.fr)

■ **Figure 8: Profil de la teneur moyenne en oxygène dissous dans l'eau, le bois et l'air à différents stades.** A: Bois sec - B: bois sec après 48 heures d'humectation - C: Bois sec après 7 jours d'humectation - D: Bois sec après 40 jours d'humectation.

