

Maîtrise et contrôle de l'apport en oxygène lors du conditionnement

Marie BLACKFORD^{1,2}, Carole KOESTEL¹, Grégory BELDAME³, Laurent AMIET¹, Xavier GRIVEL⁴, Benoît BACH², Julien DUCRUET² et Johannes RÖSTI^{1,5}

¹ Agroscope, 1260 Nyon, Suisse

² Changins, 1260 Nyon, Suisse

³ Costral, 68340 Riquewihr, France

⁴ Elvamac, 1026 Denges, Suisse

⁵ Service de l'agriculture (SAGR), 2053 Cernier, Suisse

Renseignements: Marie Blackford, tél. +41 58 460 50 42, e-mail: marie.blackford@agroscope.admin.ch, www.agroscope.ch



Photo: C. Parodi, Agroscope

Introduction

L'évolution d'un vin est fortement influencée par la quantité d'oxygène qu'il reçoit au cours de son élaboration (Ribéreau-Gayon et al. 2004; Skouroumouni et al. 2005). La dose optimale à apporter dépend du type de vin souhaité par le vigneron et de sa composition. Des études ont mis en évidence le fait que certaines étapes, comme la clarification, la stabilisation tartrique ou encore le conditionnement, sont critiques en termes d'apports d'oxygène (Castellari et al. 2004; Moutounet et Vidal 2005).

Cette étude a pour but de mesurer les performances de différents dispositifs d'inertage permettant de maîtriser l'oxygénation du vin lors de la mise en bouteilles.

Transferts d'oxygène lors de la mise en bouteille

La mise en bouteille est la dernière étape de la vinification. L'ensemble des apports en oxygène au cours de cette étape correspond à la valeur TPO (Total Package Oxygen):

$$\text{TPO} = \text{OD} + \text{HS}$$

Avec OD, l'oxygène dissous dans le vin, et HS, la teneur en oxygène gazeux contenu dans l'espace de tête. Dans le cas d'un inertage idéal, les valeurs cibles de TPO se situent autour de 1 mg/L.

Afin de comprendre quelles étapes, au cours de la mise en bouteille, influencent le TPO, il est nécessaire, selon l'équipement utilisé, d'identifier les points critiques où ont lieu les transferts d'oxygène.

- **En amont:** la maîtrise des apports en oxygène au moment du conditionnement est dépendante d'une bonne gestion de ceux-ci avant l'arrivée à la mise en bouteille, notamment lors de la préparation du vin;
- **Préparation des bouteilles:** afin de réduire la quantité d'oxygène contenu dans la bouteille avant remplissage, différents dispositifs d'inertage des bouteilles ont été développés. Ils permettent de retirer 60 à 90% de l'oxygène contenu dans l'air de la bouteille vide (Zingarelli et Gerbi 1999; Vidal et al. 2001). Le fonctionnement de ces appareils repose sur diverses méthodes: insufflation de gaz inerte, dépôt d'azote liquide, légère mise sous vide puis injection de gaz neutre (Vidal et Moutounet 2008). L'efficacité de ce type de dispositif peut être influencée, entre autres, par l'intégrité et les réglages de l'appareil, mais aussi par la pureté du gaz inerte utilisé;
- **Remplissage et bouchage:** au cours du remplissage, les principales variations en termes d'apport d'oxygène peuvent être induites par l'intégrité et le type de bec utilisé. En ce qui concerne le bouchage, différentes techniques ont également été développées selon le type d'obturateur utilisé, permettant de contrôler la teneur en oxygène dans l'espace de tête: balayage au gaz neutre avant mise sous vide nécessaire au bouchage, snow-drop™ après remplissage, etc.;
- **Après bouchage:** le choix du contenant et de l'obturateur est crucial, car il permettra une entrée plus ou moins importante d'oxygène entraînant une modification lors de l'élevage en bouteille. Suivant le type de vin misé, son choix sera stratégique.

Dans le cadre de cette étude, plusieurs objectifs ont été déterminés afin de s'assurer que la ligne de mise en bouteille apporte des quantités maîtrisées d'oxygène au vin:

- Le contrôle de l'intégrité des différents équipements de gestion de l'oxygène pouvant être installés sur la mise;
- La connaissance des performances pouvant être atteintes par la machine et la capacité de les adapter au vin désiré;
- La vérification de la stabilité de ces performances en termes d'apport d'oxygène au cours de la mise et/ou en fonction des différentes conditions de mise qui peuvent être employées chez le vigneron.

Les deux étapes principales que sont la préparation des bouteilles et le remplissage/bouchage ont été

Résumé La gestion de l'oxygène au cours de la vinification représente un enjeu majeur pour garantir un vin de qualité tant au niveau de la couleur qu'en matière aromatique, et ce d'autant plus lorsque le vigneron souhaite limiter les teneurs en SO₂. Les étapes classiques de la vinification (pompage, stabilisation, mise en bouteille, etc.) sont autant de phases au cours desquelles de l'oxygène peut être apporté au vin; elles doivent donc être réalisées avec attention. L'étape de mise en bouteille est particulièrement sujette à ces problèmes d'ajout d'oxygène non maîtrisés. C'est pourquoi différents systèmes d'inertage ont été développés. L'objectif de cette étude est de mettre en évidence la nécessité d'adapter les réglages de ces différents dispositifs d'inertage au niveau de la chaîne de conditionnement afin de pouvoir garantir une gestion optimale de l'oxygène à la mise en bouteille.

étudiées. L'étude organoleptique de l'impact de cette dose d'oxygène sur le vin n'est pas considérée ici.

Matériel et méthodes

Dispositif de mise en bouteille

Les bouteilles utilisées pour les essais sont des bouteilles bordelaises BVS 75cl provenant de la société Univerre Pro Uva SA (Sierre, Suisse) et le bouchage est réalisé à l'aide de capsules BVS 28x44mm SCAP équipées d'un joint Saranex SU38 EPEBP.

Les essais ont été conduits au printemps 2017 à la cave expérimentale d'Agroscope à Changins, sur la tireuse monobloc Galaxy 2000, conçue et assemblée par la société Costral (Riquewihir, France). Cette chaîne de conditionnement est un modèle de petite à moyenne capacité à cadence réglable qui intègre une rinceuse/inerteuse de bouteilles vides, une tireuse à 11 becs et une boucheuse.

La préparation des bouteilles vides consiste en un rinçage puis un inertage réalisé par insufflation de diazote à 99,5% de pureté, obtenu par générateur d'azote N₂FLO, Gengaz Srl (Wasquehal, France) direc-

tement dans la bouteille, tête en bas, au moyen d'une canule rentrante. La pression d'injection peut varier de 1 à 2,5 bars.

Pour le remplissage, deux types de becs ont été testés: les becs dits «gravité-dépression» (GD) avec une mise à niveau du liquide par légère dépression, et les becs dits «gravité simple» (GS) avec une mise à niveau du liquide sans réaspiration.

Cette ligne est complétée par un équipement additionnel de la marque Elvamac permettant d'inertiser les capsules et de limiter l'apport d'oxygène au niveau de l'espace de tête. Les paramètres d'inertage de la capsule sont restés identiques pour l'ensemble des essais.

Analyse des gaz dissous

Un analyseur d'oxygène NomaSense O₂ Prime de la société Vinventions SA (Thimister-Clermont, Belgique), dont la mesure est basée sur le principe de l'oxo-luminescence, a été utilisé.

Afin d'effectuer un suivi de l'oxygène lors de la mise en bouteille, 11 bouteilles ont été équipées de 2 pastilles PSt3 Presens GmbH (Regensburg, Allemagne): une pastille a été immergée dans le vin, elle permet de mesurer l'oxygène dissous (OD); l'autre est placée au niveau de l'espace de tête (HS), elle permet de mesurer la quantité d'oxygène gazeux.

Les résultats ont été analysés par méthodes statistiques à l'aide du logiciel XLSTAT (Version 2016.02.28635, Addinsoft, Paris, France). Les différences entre variantes ont été déterminées par analyses de variance ($P < 0,05$).

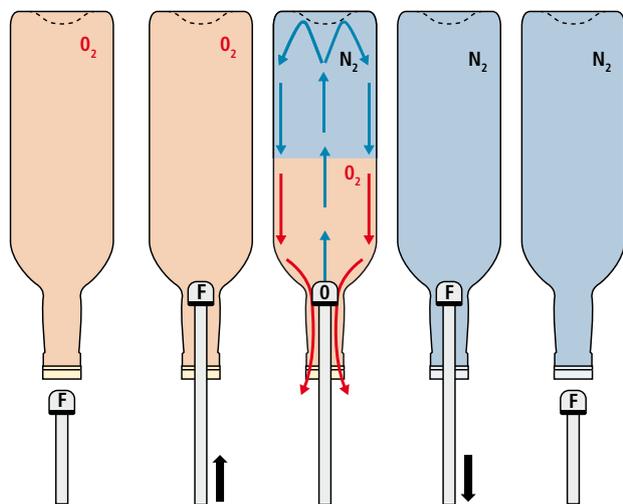


Figure 1 | Description du cycle d'inertage par injection d'azote avec système de canules rentrantes de la société Costral.

Résultats et discussion

Influence de préparation des bouteilles sur le TPO

Cette partie des résultats porte uniquement sur la séquence d'inertage au niveau de la rinçeuse/inerteuse des bouteilles vides du monobloc Galaxy 2000. Les bouteilles sont bouchées simultanément immédiatement à la sortie de la rinçeuse. Quatre répétitions de trois bouteilles chacune sont réalisées par test ($n = 12$). Les mesures d'oxygène sont réalisées une fois les douze bouteilles inertées et bouchées. Entre chaque test, les bouteilles sont ventilées à l'air comprimé pour chasser l'azote.

Description du dispositif et identification des points critiques

L'inertage des bouteilles vides se fait par insufflation d'azote. Dans le cas d'un inertage optimal, la canule fermée est introduite dans la bouteille. Elle s'ouvre ensuite, permettant l'injection d'azote afin d'inertiser la bouteille. Une fois l'injection terminée, la canule se ferme et sort de la bouteille (fig.1).

Plusieurs points critiques peuvent être identifiés: la séquence d'inertage, la pression de gaz, la cadence de travail, le type de bouteilles, etc.

Ces opérations sont contrôlées par l'automate de la rinçeuse, dont les réglages peuvent être adaptés afin d'ajuster le cycle de montée et de descente des canules, l'ouverture et la fermeture des vannes d'injection au bout des canules et la pression d'injection.

Influence des réglages de l'automate d'inertage

L'objectif de cette partie est de comprendre l'influence des réglages de l'automate d'inertage sur la quantité d'oxygène présente dans la bouteille à la fin de la préparation des bouteilles et de contrôler la variabilité de cette quantité en fonction de la cadence de mise.

Pour cela, deux types de réglages ont été utilisés, notés réglages 1 et réglages 2. Le détail des différentes séquences d'inertage en fonction de ces réglages et des différentes cadences de travail est présenté dans le tableau 1. L'utilisation des réglages 2 permet de diminuer la durée d'injection d'azote, ce qui entraîne une diminution des coûts. En ce qui concerne l'influence sur la quantité d'oxygène présente dans la bouteille, les résultats sont présentés en figure 2.

Pour les réglages 1, des teneurs en oxygène dans les bouteilles allant de 1,43% à 4,13% ont été mesurées. Cette variabilité met en évidence un impact net de la cadence de travail (différence significative entre les trois cadences). A 2000 bouteilles par heure, la séquence est bien plus rapide qu'à 1300 bouteilles par

heure (tabl. 1). La durée d'insufflation d'azote, combinée à une pression d'injection faible, ne permet pas de vidanger la totalité de l'oxygène contenu dans la bouteille. A 700 bouteilles par heure, la séquence est plus longue et permet ainsi un meilleur inertage, bien que l'injection se poursuive une fois que la canule est sortie de la bouteille, entraînant un gaspillage de gaz inerte.

Les réglages 2 permettent d'abaisser significativement les teneurs en oxygène gazeux mesurées en sortie de rinceuse, pour les trois cadences testées. Les teneurs atteintes vont de 0,33% à 0,54% d'oxygène gazeux. Elles sont très faibles et proches du minimum qu'il est possible d'atteindre avec l'azote produit par le générateur. En effet, les spécifications techniques indiquent une pureté de l'ordre de 99,5 à 99,8%. Néanmoins, les teneurs en oxygène gazeux mesurées restent statistiquement différentes entre les trois cadences de travail testées.

Les réglages 2 semblent plus adaptés aux conditions de mise en bouteille utilisées à la cave expérimentale d'Agroscope, car ils permettent à la fois de limiter l'apport d'oxygène au vin et de limiter la variabilité en fonction de la cadence de mise en bouteille. L'utilisa-

tion de réglages adaptés apparaît donc comme cruciale pour garantir l'efficacité du dispositif d'inertage.

Influence de la pression d'insufflation

Outre la durée de la séquence d'inertage, la pression d'injection peut également être réglée au niveau de l'automate. Des essais ont été réalisés afin de déterminer l'influence de cette dernière sur l'apport d'oxygène au moment de la mise en bouteille (fig. 3).

Pour une pression d'injection de 1 bar, les valeurs d'oxygène apportées au vin sont très variables en fonction de la cadence. Pour une cadence de 700 bouteilles/heure, l'apport d'oxygène est de $0,36 \pm 0,03\%$, ce qui permet de dire que les réglages 2 et une pression d'injection à 1 bar sont suffisants pour obtenir un inertage de qualité. En ce qui concerne les cadences de 1300 et 2000 bouteilles/heure, les teneurs en oxygène mesurées dans les bouteilles sont nettement plus importantes, $1,70 \pm 0,17\%$ et $2,00 \pm 0,12\%$ respectivement. Ces apports d'oxygène plus élevés mettent en évidence qu'à cette pression d'insufflation la ventilation totale de l'oxygène contenu dans la bouteille n'est pas atteinte.

Tableau 1 | Caractéristiques des séquences d'inertage en fonction des réglages et de la cadence de mise.

Cadence de mise	700 bouteilles/heure		1300 bouteilles/heure		2000 bouteilles/heure	
	Réglage 1	Réglage 2	Réglage 1	Réglage 2	Réglage 1	Réglage 2
Durée montée-descente des canules	4s12 ± 0s02	3s33 ± 0s06	3s55 ± 0s02	2s66 ± 0s02	2s92 ± 0s05	2s38 ± 0s02
Durée d'injection d'azote	4s95 ± 0s04	1s92 ± 0s02	2s44 ± 0s01	1s59 ± 0s03	1s99 ± 0s03	1s48 ± 0s02

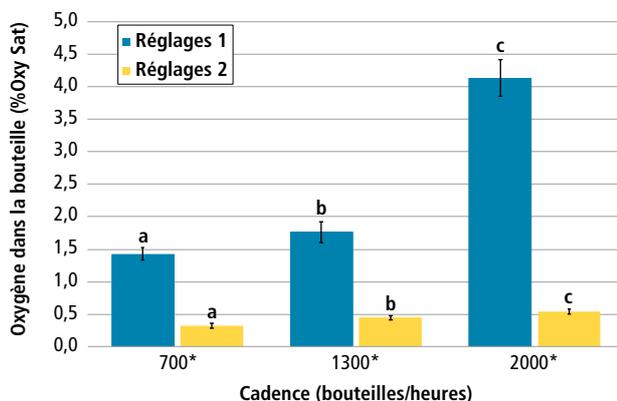


Figure 2 | Teneurs en oxygène mesurées dans les bouteilles inertées en fonction de la cadence de travail et des conditions de réglage de l'automate d'inertage (2 bars). Les résultats représentent la moyenne de 12 mesures ± un intervalle de confiance à 95%. Les astérisques indiquent une différence significative (95%) entre les deux réglages, pour une cadence donnée. Pour un réglage donné, des lettres différentes indiquent une différence significative (95%) entre les cadences.

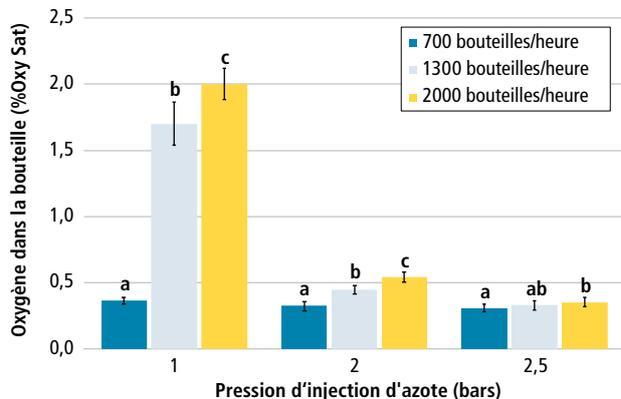


Figure 3 | Teneurs en oxygène gazeux mesurées dans les bouteilles inertées en fonction de la pression d'insufflation de l'azote et de la cadence de travail (réglages 2). Les résultats représentent la moyenne de 12 mesures ± un intervalle de confiance à 95%. Pour une pression donnée, des lettres différentes indiquent une différence significative (95%) entre les cadences.

Les résultats obtenus pour une pression de 2 bars avec les réglages 2 ont été présentés précédemment (partie 4.1.2). Les teneurs en oxygène gazeux obtenues vont de 0,33% à 0,54%, avec toutefois une influence de la cadence de travail. Cette influence est cependant moins marquée qu'à la pression d'injection de 1 bar.

Dans le cas d'une pression d'injection à 2,5 bars, les teneurs en oxygène mesurées dans les bouteilles inertées sont de l'ordre de 0,31% à 0,35%. A cette pression, l'écart entre les teneurs mesurées aux trois cadences est quasiment nul. A nouveau, compte tenu de la pureté de l'azote produit par le générateur, il ne sera pas possible d'obtenir des valeurs plus basses.

L'augmentation de la pression permet d'améliorer les performances en termes d'inertage des bouteilles vides, que ce soit au niveau de la quantité d'oxygène présente dans la bouteille ou en termes de variabilité en fonction des conditions de mise en bouteille. Néanmoins, à forte pression d'insufflation, la consommation d'azote est conséquente. L'aspect économique de production d'azote ou d'achat d'azote en bouteille est à prendre en considération. Il convient alors de trouver un équilibre entre l'efficacité de l'inertage et son coût.

Les nouveaux réglages proposés par le fabricant permettent d'améliorer significativement l'inertage des bouteilles vides au niveau de la rinceuse. L'insufflation d'azote permet de ventiler abondamment l'oxygène contenu dans la bouteille et d'obtenir des teneurs très proches de la limite la plus basse qu'il est possible d'obtenir avec l'azote produit par le générateur. Une faible variabilité persiste entre les différentes cadences de travail, pouvant être gommée par une augmentation de la pression d'insufflation.

Ces tests et les résultats obtenus sont pertinents dans le cadre de l'utilisation du monobloc Galaxy effectuée par Agroscope, c'est-à-dire à une cadence de travail de l'ordre de 1300 bouteilles par heure et avec des bouteilles bordelaises 75cl. En effet, les dynamiques de mélange air/azote lors de l'insufflation varient très certainement selon le profil de la bouteille et son volume.

En conséquence, la robustesse des réglages et du procédé d'inertage doit être mise en relation avec les objectifs techniques et économiques du vinificateur. Il convient de trouver l'équilibre entre efficacité de l'inertage, conditions de travail (cadence, etc.) et consommation d'azote.

Influence des étapes de remplissage et de bouchage sur le TPO

Une fois inertées, les bouteilles vides sont remplies puis bouchées. Les apports en oxygène doivent alors être maîtrisés au niveau de ces étapes.

Description du dispositif et identification des points critiques

Pour ces essais, le dispositif monobloc Galaxy 2000 est complété par un dispositif d'inertage des capsules et de l'espace de tête de la société Elvamac.

Au niveau de l'étape de remplissage-bouchage, plusieurs points critiques peuvent être identifiés: l'intégrité des becs, la cadence de mise, le type de bouchage, le dispositif d'inertage de l'espace de tête, etc.

Ces essais ont été réalisés en conditions réelles lors de la mise en bouteille de Chasselas du Domaine de Changins 2016, à la cave expérimentale d'Agroscope, Changins.

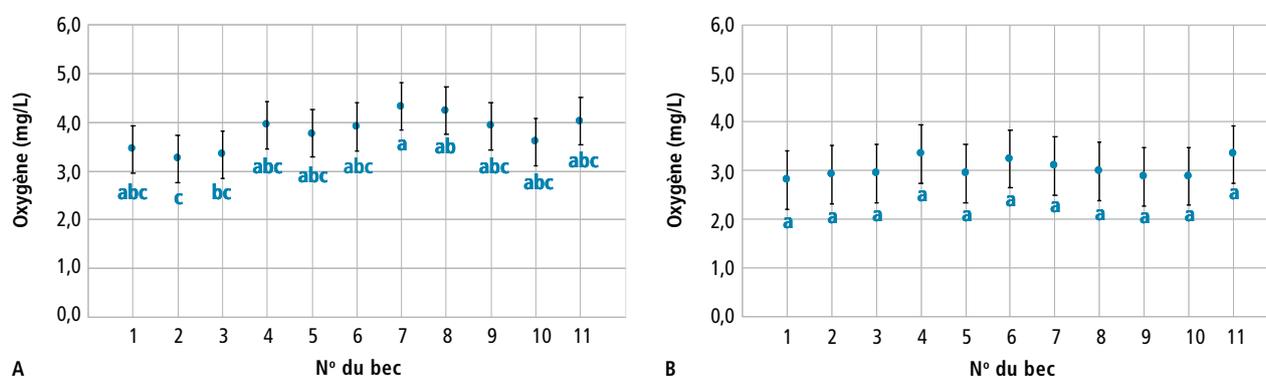


Figure 4 | Figure 4: Oxygène total de l'emballage (TPO) mesuré en mg/L pour les 11 becs de la tireuse, et pour chaque type de bec (A: beccs GD; B: beccs GS). Les données représentent une moyenne des six mesures effectuées pour chaque numéro de bec, par type de bec. Les barres d'erreur représentent un intervalle de confiance à 95%. Les moyennes ne partageant aucune lettre commune sont significativement différentes selon le test de regroupement de Tukey, au seuil de 95%.

Etude de l'intégrité des becs de tireuse

La première partie des essais a consisté à vérifier l'intégrité et l'homogénéité des becs en termes d'apports en oxygène. Le TPO moyen est mesuré pour chaque bec et les valeurs sont présentées en figure 4.

Dans le cas des becs GD (figure 4a), des variations significatives de l'oxygène total de l'emballage en fonction du numéro de bec ont été mises en évidence. Les valeurs varient entre 3,2 et 4,3 mg/L. L'analyse des différences entre les becs avec la méthode de Tukey a permis de distinguer trois groupes du point de vue de l'enrichissement du vin en oxygène lors de la mise: le bec n° 7 provoque un enrichissement du vin significativement plus important que les becs n° 2 et 3. De même, le bec n° 8 provoque un enrichissement du vin significativement plus important que le bec n° 2. L'analyse des mesures d'oxygène dissous et d'oxygène de l'espace de tête de manière séparée (données non présentées ici) permet d'affirmer que les variations observées entre les becs sont uniquement dues aux différences d'oxygène dissous.

Dans le cas des becs GS (fig. 4b), aucun effet significatif du numéro du bec n'a pu être identifié. Les valeurs mesurées se situent autour de 3 mg/L. La quantité d'oxygène apportée au vin lors du remplissage est donc homogène quel que soit le numéro du bec.

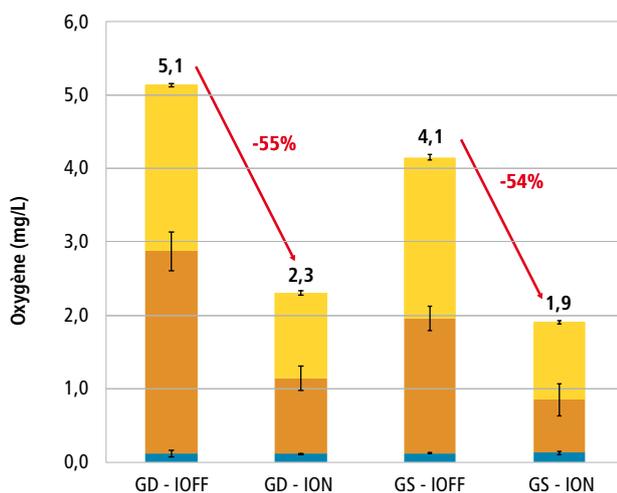


Figure 5 | Influence de l'inertage sur l'oxygène total de l'emballage. Concentrations d'oxygène dissous dans le vin avant et pendant la mise et d'oxygène gazeux de l'espace de tête, exprimées en mg/L. L'oxygène total de l'emballage représente la somme des trois catégories et est indiqué sous forme chiffrée pour chaque variante. GD et GS: types de becs; IOFF: sans inertage; ION: avec inertage. Les données sont représentées sous forme de moyenne (3 mesures pour l'oxygène dissous avant mise et 33 mesures pour l'oxygène dissous pendant la mise et de l'espace de tête). Les barres d'erreur représentent un intervalle de confiance à 95%.

Impact de l'inertage sur le TPO

Afin de valider l'efficacité des dispositifs d'inertage, les essais de remplissage ont été réalisés avec et sans ces dispositifs. Les résultats sont présentés en figure 5.

Quel que soit le type de bec testé, l'utilisation de dispositifs d'inertage permet de réduire le TPO (fig. 5). La teneur en oxygène dissous dans le vin avant mise est faible, de l'ordre de 0,1 mg/L pour les quatre modalités. Sur les variantes non inertées, des TPO de l'ordre de 4 à 5 mg/L ont été mesurés. Sans dispositif d'inertage, l'étape de conditionnement entraîne donc un enrichissement du vin en oxygène important.

Lorsque l'inertage des bouteilles vides avant remplissage et l'inertage de l'espace de tête et de la capsule sont fonctionnels, le TPO diminue de plus de 50%. Les valeurs mesurées se situent alors autour de 2 mg/L. L'oxygène dissous pendant la mise diminue d'environ 60%, tandis que l'oxygène de l'espace de tête est réduit de 50%.

Dans la configuration de nos essais, les effets de chaque poste d'inertage ne peuvent être distingués. Toutefois, il semble assez évident que l'inertage des bouteilles vides avant remplissage permet de diminuer l'enrichissement du vin en oxygène au moment du tirage. De manière similaire, l'oxygène piégé dans l'espace de tête diminue grâce au dispositif d'inertage Elvaprotect. Pour vérifier séparément l'effet de chaque poste d'inertage, des essais complémentaires en actionnant les dispositifs individuellement seraient nécessaires.

Influence du type de becs sur le TPO

Afin de déterminer les performances de l'équipement de mise en bouteille, deux types de becs ont été testés pour l'étape de remplissage. Les résultats sont présentés en figure 6.

Dans le cas des variantes non inertées, le TPO mesuré passe de 5,1 mg/L avec les becs GD à 4,1 mg/L avec les becs GS, soit une diminution de 19%. Lorsque les dispositifs d'inertage sont activés, le système est nettement plus performant, comme exposé précédemment. Le gain obtenu avec les becs GS, en termes d'oxygène total de l'emballage, semble alors minime (moins de 0,4 mg/L), mais représente tout de même une diminution de l'ordre de 17%. En comparaison avec les becs GD, les nouveaux becs GS ont un impact significatif sur l'oxygène total de l'emballage.

De manière plus précise, l'effet du type de bec est surtout mesuré par une diminution de l'oxygène dissous pendant la mise de l'ordre de 30%, et ce, que l'inertage soit activé ou non. L'oxygène de l'espace de tête n'est que très modérément impacté.

Influence de la cadence de travail sur le TPO

Enfin, afin de compléter cette étude, l'influence de la cadence de mise sur la quantité d'oxygène apportée au vin a été évaluée. Ces essais ont été réalisés en utilisant les becs GS ainsi que les différents dispositifs d'inertage. Les résultats sont présentés en figure 7.

Dans ces conditions, un TPO de 1,9 mg/L a été mesuré pour une cadence de 1000 bouteilles/heure. En passant à 2000 bouteilles/heure, l'oxygène total de l'emballage atteint 0,9 mg/L, soit une diminution de 51%. L'augmentation de la cadence permet d'abaisser significativement l'oxygène total de l'emballage. Comme le montre la figure 7, cette baisse est liée à une diminution de l'oxygène de l'espace de tête (-60%), mais également à une baisse de l'oxygène dissous pendant la mise (-40%).

Ces essais montrent une nouvelle fois l'importance d'adapter les réglages des dispositifs d'inertage installés et l'équipement de mise en bouteille aux conditions de travail afin de garantir un apport contrôlé et adapté au vin désiré.

Conclusions

- Une bonne gestion des apports d'oxygène nécessite une maîtrise de la chaîne de conditionnement. Cela implique un ensemble de pratiques à mettre en œuvre, depuis la préparation du vin jusqu'au bouchage, et ce d'autant plus lorsque le vigneron souhaite limiter les teneurs en SO₂.
- Les becs GS induisent une prise d'oxygène lors du tirage 15 à 20% inférieure à ce qu'on observe dans les mêmes conditions avec les becs GD, et cela avec une variabilité réduite entre les becs.
- En ce qui concerne la mise en bouteille, une attention particulière doit être apportée aux réglages des différents dispositifs d'inertage afin de pouvoir garantir un apport minimal en oxygène.
- En combinant l'utilisation des becs GS, une cadence de travail confortable et l'utilisation de l'inertage avec les bons réglages, les performances sont remarquables, puisque l'oxygène total de l'emballage se situe sous la barre de 1 mg/L.
- D'un point de vue pratique, l'utilisation des becs GS semble parfaitement adaptée pour la mise en bouteille des vins blancs suisses, dont les teneurs en CO₂ sont plus élevées que dans d'autres régions

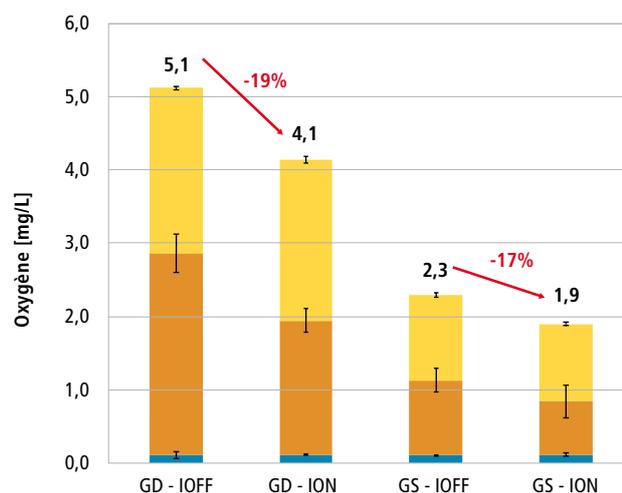


Figure 6 | Influence du type de bec sur l'oxygène total de l'emballage. Concentrations d'oxygène dissous dans le vin avant et pendant la mise et d'oxygène gazeux de l'espace de tête, exprimées en mg/L. L'oxygène total de l'emballage représente la somme des trois catégories et est indiquée sous forme chiffrée pour chaque variante. GD et GS: types de becs; IOFF: sans inertage; ION: avec inertage. Les données sont représentées sous forme de moyenne (3 mesures pour l'oxygène dissous avant mise et 33 mesures pour l'oxygène dissous pendant la mise et de l'espace de tête). Les barres d'erreur représentent un intervalle de confiance à 95%.

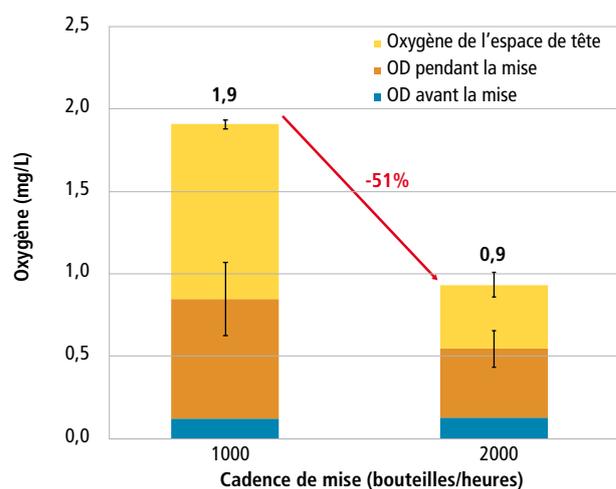


Figure 7 | Influence de la cadence sur l'oxygène total de l'emballage, évaluée en utilisant les becs GS et avec tous les dispositifs d'inertage activés. Concentrations d'oxygène dissous dans le vin avant et pendant la mise et d'oxygène gazeux de l'espace de tête, exprimées en mg/L. L'oxygène total de l'emballage représente la somme des trois catégories et est indiquée sous forme chiffrée pour chaque variante. Les données sont représentées sous forme de moyenne (11 mesures pour l'oxygène dissous pendant la mise et de l'espace de tête), sauf pour l'oxygène avant mise (1 seule mesure). Les barres d'erreur représentent un intervalle de confiance à 95%.

viticoles. Visuellement, le dégazage semble moins important lors du remplissage et la quasi-absence de mousse rend la mise à niveau plus aisée et plus régulière.

- La robustesse des réglages et du procédé d'inertage doit être mise en relation avec les objectifs techniques et économiques du vinificateur. Il convient de trouver l'équilibre entre efficacité de l'inertage, conditions de travail (cadence, etc.) et consommation d'azote. ■

Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement la société Costral pour son soutien technique et la mise à disposition des équipements, et les sociétés Vinventions et Elvamac pour le soutien technique. Merci à tous nos collègues d'Agroscope qui ont participé à cette étude, notamment Philippe Seixas, Emilie Gerber et Matthieu Nussbaum.

Bibliographie

- Castellari M., Simonato B., Tornielli G., Spinelli P. & Ferrarini R., 2004. Effects of different enological treatments on dissolved oxygen in wines. *Italian journal of food science* **16** (3).
- Moutounet M. & Vidal J.-C., 2005. La mesure de l'oxygène dissous au chai: nouveau critère de l'assurance qualité? In: L'innovation en viticulture/œnologie, décembre 2005, Station Régionale ITV Midi-Pyrénées.
- Ribéreau-Gayon P., Dubourdieu D., Donèche B. & Lonvaud A., 2004. Traité d'œnologie, 2, Chimie du vin, Stabilisation et traitement. *La Vigne* **2**, 5, Dunod, Paris.
- Skouroumounis G. K., Kwiatkowski M. J., Francis I. L., Oakey H., Capone D. L., Duncan B., Sefton M. A. & Waters E. J., 2005. The impact of closure type and storage conditions on the composition, colour and flavour properties of a Riesling and a wooded Chardonnay wine during five years' storage. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **11** (3), 369-377.
- Vidal J.-C., Dufourcq T., Boulet J.-C. & Moutounet M., 2001. Les apports d'oxygène au cours des traitements des vins. *Bilan des observations sur site*, 1^{re}, 2^e et 3^e parties.
- Vidal J.-C. & Moutounet M., 2008. La maîtrise des apports d'oxygène au conditionnement. In: *UFOE* (Ed. d'œnologie L. r. F.), Limoux 229.
- Zingarelli D. & Gerbi V., 1999. Esperienze di misurazione dell'ossigeno disciolto durante l'imbottigliamento di vini. *Imbottigliamento* **22** (8), 114-121. ➤

Summary**Control and monitoring of oxygen addition during bottling**

Oxygen management during winemaking is a major challenge to guarantee a quality wine in terms of both colour and aromatic qualities, especially where the winemaker wishes to limit the SO₂ content. The classic stages of winemaking (pumping, stabilising, bottling, etc.) are all phases during which oxygen can be added to the wine, so these stages must be carried out carefully. The bottling stage is especially prone to these problems of uncontrolled oxygen addition, which is why various inerting systems have been developed. The objective of this study is to demonstrate the need to adapt the settings of these different inerting devices at packaging line level in order to guarantee optimal oxygen management at bottling.

Key words: oxygen control, wine bottling, dissolved oxygen, headspace oxygen, Total Package Oxygen.

Zusammenfassung**Steuerung und Überwachung der Sauerstoffzufuhr bei der Weinbereitung**

Das Sauerstoffmanagement während der Weinbereitung ist eine grosse Herausforderung, um eine hohe Weinqualität bezüglich Farbe und Aroma gewährleisten zu können, insbesondere wenn der Winzer den SO₂-Gehalt limitieren möchte. Die klassischen Schritte der Weinbereitung (Pumpen, Stabilisieren, Abfüllen usw.) sind alle Phasen, in denen dem Wein Sauerstoff zugeführt werden kann. Sie müssen daher sorgfältig erfolgen. Die Abfüllphase ist besonders anfällig für unkontrollierten Sauerstoffzufuhr. Aus diesem Grund wurden verschiedene Inertisierungssysteme entwickelt. Ziel dieser Studie ist es, die Notwendigkeit hervorzuheben, die Einstellungen dieser verschiedenen Inertisierungsvorrichtungen auf der Ebene der Verpackungskette anzupassen, um ein optimales Sauerstoffmanagement bei der Abfüllung gewährleisten zu können.

Riassunto**Gestione e controllo dell'apporto di ossigeno durante il condizionamento**

La gestione dell'ossigeno durante la vinificazione è un elemento essenziale per garantire un vino di qualità sia in termini cromatici che aromatici, in particolare quando il viticoltore desidera limitare il contenuto di SO₂. Durante tutte le tappe classiche della vinificazione (pompaggio, stabilizzazione, imbottigliamento, ecc.) è possibile aggiungere ossigeno al vino e proprio per questo le varie fasi devono essere eseguite con attenzione. L'imbottigliamento è particolarmente soggetto a questi problemi di aggiunta incontrollata di ossigeno. Per questo motivo si sono sviluppati diversi sistemi di inertizzazione. L'obiettivo di questo studio è quello di evidenziare la necessità di adattare le impostazioni di questi diversi dispositivi di inertizzazione a livello della catena di condizionamento, al fine di garantire una gestione ottimale dell'ossigeno durante l'imbottigliamento.