

Pratiques œnologiques : les dernières tendances en lien avec l'évolution climatique ?

Samson A.¹, Dequin S.², Salmon J.M.¹, Bes M.¹, Noble J.³, Aguera E.¹, Liénard P.¹, Escudier J.L.¹

¹ INRA, UE 999, Domaine de Pech-Rouge, F-11430 Gruissan

² INRA, UMR1083 Sciences pour l'œnologie, 2, Place Viala, F-34060 Montpellier

³ Lallemand, SAS, 19 rue des Briquetiers, F- 31700 Blagnac

Email: escudier@supagro.inra.fr

Résumé : Dans un contexte de changement climatique, d'exigences environnementales, à l'instar de la viticulture de précision, une œnologie dite « de précision » se met en place pour des vendanges en situation de stress hydrique prolongé. La qualité de ces vins n'est pas classiquement optimale et c'est tout le travail de l'œnologue que de retrouver les équilibres physico-chimiques et sensoriels perdus. Cette œnologie d'intervention se décline sur la vendange tout au long de la succession des opérations unitaires de la vinification en lien avec la maîtrise des phénomènes d'oxydation. Les levures peuvent acquérir de nouvelles aptitudes permettant de mieux maîtriser la teneur en alcool, en la diminuant jusqu'à 1% vol, et l'acidité en l'augmentant. Il s'agit de maîtriser les extractions en cours de vinification, la stabilité et l'équilibre organoleptique des vins jusqu'au conditionnement.

L'œnologue intervient plus particulièrement sur la teneur en alcool des vins et leur équilibre au niveau acidité et pH. Pour cela, les technologies membranaires pilotées par des capteurs en ligne avec une grande spécificité permettront de mieux répondre à ces défis scientifiques et technologiques. Il s'agit d'innovations récentes, désormais autorisées par la réglementation et déjà disponibles en traitement à façon sous forme de prestation de service.

Mots-Clés : vin, alcool, pH, acidité, levures, œnologie, évolution climatique

Introduction

Depuis une vingtaine d'années, les effets de l'évolution climatique se font sentir dans certains bassins viticoles, en particulier méditerranéens, par une évolution significative de la composition analytique des vins. A titre d'exemple, la Figure 1 renseigne sur la moyenne des analyses annuelles d'un millier de vins du bassin de production narbonnais réalisées par le laboratoire Dubernet depuis 30 ans. Ces données montrent de façon significative, voire spectaculaire, l'évolution de la composition des vins sur leur teneur en éthanol, en acidité et par conséquence du pH.

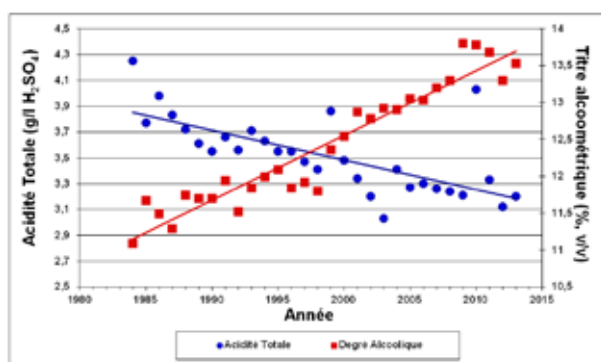


Figure 1 : Evolution de l'acidité totale et du titre alcoométrique des vins du Languedoc-Roussillon sur la période 1984-2013. Source : Laboratoire Dubernet (œnologie (Narbonne, France).

De 1980 à 2015, les relevés de la station météorologique de Pech-Rouge quantifient sur la période végétative (avril-septembre) un bilan hydrique déficitaire de façon continue depuis l'année 2000 jusqu'à l'année 2015. Sur ces 16 années successives, l'évapotranspiration est significativement supérieure aux précipitations. Ceci met chaque été l'essentiel de ce vignoble du bassin de production en situation de stress hydrique, à l'exception des 15% à 20% de vignes actuelle-

ment irriguées. Les conséquences du stress hydrique ne se limitent pas à la production de vins avec des acidités trop basses ou des teneurs en alcool excessives. La composition en polyphénols du raisin et des vins est également modifiée par un stress hydrique prolongé. Les études en cours et les observations des professionnels montrent que la qualité des vins est souvent influencée négativement, notamment au niveau de la finesse du bouquet, l'amertume des vins blancs et de l'astringence des vins rouges (Barbeau *et al.* 2008). La récolte du raisin réalisée plus précocement, dès le mois d'août, avec des températures nocturnes comme diurnes élevées complexifie le travail de l'œnologue qui doit adapter ses pratiques œnologiques.

Dans ce contexte, ne rien faire en termes d'œnologie conduirait à élaborer des vins alcoolisés, moins acides, avec des conséquences parfois négatives sur leurs stabilités et la maîtrise de leurs qualités. Ceci contribue à les rendre moins adaptés au marché. En fait, rester inactif face à ces évolutions revient à subir un changement inéluctable de la qualité des produits, souvent à la baisse. L'impact économique est d'autant plus négatif que le stress hydrique des vignes associée à cette perte de qualité, une perte de poids de vendange. Les premiers champs d'action de l'œnologue sur les vins vont donc concerner d'une part, la réduction partielle du degré d'alcool des vins et d'autre part, la correction de l'acidité des vins. Sur ces deux sujets, des travaux expérimentaux initiés et menés par les équipes de l'INRA et leurs partenaires, publics et privés, ont permis de proposer au fil des années un ensemble d'outils technologiques. Ils peuvent être qualifiés d'innovants car ils commencent à être aujourd'hui transférés significativement vers les professionnels de la filière à l'échelle mondiale (Escudier *et al.*, 2014).

1. Du raisin au vin : quelques pratiques œnologiques en lien avec l'évolution climatique.

De nombreux rapports scientifiques prospectifs ont montré que l'impact majeur du changement climatique attendu porterait sur la phénologie de la vigne. En raison de l'augmentation de la température, une avance de 20 à 40 jours concernant les stades de

développement est envisageable avec un fort impact négatif sur les sols et l'état hydrique de la plante, principalement dans le Sud de la France (Ollat et Touzard, 2014). La maturation se déroulerait dans des conditions beaucoup plus chaudes qu'aujourd'hui, ceci aurait une incidence sur la composition du raisin, mais aussi sur l'aptitude à élaborer les types actuels de vins (Goutouly, 2009).

Il apparaît que les effets du changement climatique sur la qualité potentielle des vins peuvent être de natures très diverses, et variables suivant les cépages. Il convient donc d'envisager plusieurs pistes d'adaptation de la vinification pour fournir à l'œnologue une véritable boîte à outils.

1.1 Adaptations de la vinification en rouge pour des raisins issus de vigne en stress hydrique.

- **Métabolisme Anaérobie et durée de cuvaison.** La fermentation intracellulaire, à côté de la formation de composés aromatiques spécifiques, crée les conditions d'une extraction graduelle des composés polyphénoliques. Bien que moins développée maintenant avec l'extension de la mécanisation de la vendange, la macération en grappes entières non foulées est une option non dénuée d'intérêt. Le couple temps/température a été étudié sur différents cépages (Flanzy, 1973). L'utilisation séparée de vin de goutte et de presse permet de gérer souplesse et fruité du vin, surtout sur le vin de presse. Des schémas faisant appel à des temps rallongés de cuvaison avec une mise en place de remontages après la phase de métabolisme anaérobie ont aussi été expérimentés et proposés avec succès. Au niveau organoleptique, des différences significatives apparaissent entre vins jeunes (de quelques mois) selon le temps de cuvaison de 5 jours à 10 jours pour les applications les plus fréquentes. D'autre part, les vins de macération carbonique à plus basse température (20/25°C, plutôt que 30/32°C), dans les premiers mois de dégustation sont toujours bien classés par les jurys de dégustation, puis les dégustateurs sélectionnent ensuite les vins ayant bénéficié de température de macération plus élevées pour leur structure (Flanzy *et al.*, 2001).

- **Durée de cuvaison.** Un équilibre d'extraction est obtenu assez rapidement après la fin de la fermentation alcoolique. L'extrait sec global du vin est légèrement accru par une cuvaison post fermentaire. L'intérêt de cette pratique associée à une bonne gestion du couple temps-température pendant la macération fermentaire et au choix du type et de la fréquence des remontages sont pour l'œnologue les leviers de décision pour atteindre un optimum de qualité organoleptique en fonction de la vendange et du millésime. La bibliographie est riche pour chaque région viticole de travaux concernant ces techniques de vinification. Il s'agit même du travail de base de l'œnologue qui suit au quotidien l'évolution de chacune des cuvées. Dans le cas de vendange à faible réserve de polyphénols, la macération finale à chaud est parfois une des options d'amélioration.

- **Thermo traitement, Prétraitement du raisin par flash détente sous vide.** Le chauffage de la vendange permet de séparer l'extraction de la fermentation. Le vin rouge est ainsi vinifié en phase liquide comme un vin blanc. Le couple temps/température de macération (de 60°C à 95°C, de quelques minutes à quelques heures), le niveau de dépression (flash détente) et l'activité des enzymes spécifiques qui peuvent être ajoutées sont autant de leviers pour agir sur la destruction des parois pelliculaires et par conséquent l'extraction des polyphénols. Par rapport à la vinification classique, le procédé de flash détente accroît les extractions de toutes les classes de composés polyphénoliques, anthocyanes, acides phénols mais aussi flavonols, proanthocyanidines et catéchines. Le rapport tanins sur anthocyanes est aussi plus élevé pour les vins traités par flash détente (Escudier *et al.*, 2008). L'élimination des condensats générés par la mise sous vide du raisin permet, si besoin, de limiter la teneur des moûts en composés en C6, et pyrazines par exemple, produits en quantité plus importante dans les raisins moins mûrs d'une vigne en situation de stress hydrique prolongé. L'analyse sensorielle permet en général, pour chaque cépage étudié, de bien séparer au niveau des perceptions aromatiques les vins prétraités

par thermotraitement et par flash détente de ceux vinifiés classiquement. Les références traitées thermiquement sont généralement plus fruitées avec moins de notes animales et végétales. Par ailleurs, des études récentes montrent l'impact du niveau de la clarification des moûts ainsi extraits par chauffage, sur la cinétique fermentaire et le profil sensoriel des vins produits. Les niveaux de clarification les plus poussés conduisent à une vitesse de fermentation moindre et une durée plus longue. Ceci oriente les vins sur des profils plus primeur (Eudier *et al.*, 2011).

1.2 Maîtrise de l'oxydation de la benne à vendange au chai d'élevage.

Sous l'effet du stress hydrique la composition des moûts est modifiée : augmentation de la teneur en acides hydroxycinnamiques, teneur plus faible en glutathion (Schüttler *et al.*, 2013), pH plus élevé. Ces modifications peuvent avoir pour conséquence une perte d'efficacité des sulfites ajoutés. Dans ces conditions il est vraisemblable que des phénomènes d'oxydation plus prononcés des moûts soient constatés (Frissant *et al.*, 2012). Si l'action de la maîtrise de températures basses peut concourir à une limitation de l'oxydation, elle n'est toutefois pas suffisante et l'ajout d'agents anti-oxydants restera inévitable, notamment en vinifications en blanc et rosé. Dans le cadre de la réduction de l'usage des sulfites en vinification, il sera nécessaire de mieux repenser non seulement les étapes technologiques, mais également les ajouts de sulfites en cours de procédé. A titre d'exemple, il apparaît clairement que les besoins en sulfites pour limiter l'oxydation du moût au cours du pressurage pneumatique sont très différents suivant les étapes mêmes de ce pressurage (Frissant *et al.*, 2012). De même, l'ajout raisonné de sulfites lors des traitements continus d'extraction de la vendange (décanteur centrifuge, par exemple) permet d'obtenir des qualités de moûts au moins égales à celles issues d'un pressurage classique, voire meilleures avec des quantités de sulfites utilisées plus faibles (Duquène *et al.*, 2014). Des démarches similaires devront être réalisées à toutes les étapes technologiques de transformation du raisin pour prétendre à une protection accrue contre l'oxydation du moût avec une utilisation raisonnée d'agents antioxydants.

2. Traitement de correction des vins

2.1 Réduction de la teneur en alcool

- **Utilisation de levure produisant moins d'alcool.** Le programme ANR VDQA (« Vins De Qualité à teneur réduite en Alcool ») a inclus une sélection de levures *Saccharomyces* avec un rendement de transformation sucre/alcool plus faible. En 2009, le gain en diminution d'alcool par rapport à une levure classique était de 0,1 à 0,2 % (vol). L'action de recherche s'est poursuivie entre la société Lallemand et l'Inra UMR SPO, et a abouti au développement d'une souche par évolution dirigée permettant d'obtenir une baisse de l'ordre de 1 % (vol) avec une production augmentée de glycérol (17 g/L) (Tilloy *et al.*, 2014). L'approche d'évolution dirigée, aussi appelée évolution expérimentale ou adaptative, est basée sur la culture à long-terme d'un organisme en présence d'une pression de sélection (Figure 5). Ceci favorise l'émergence de variations génétiques, et la sélection des souches présentant des mutations bénéfiques dans les conditions choisies. Les souches évoluées et ancestrales peuvent



Figure 5 : Principe de l'évolution adaptative. Une culture prolongée est réalisée afin de favoriser l'accumulation de mutations spontanées. L'utilisation de conditions sélectives (présence d'un stress, croissance en présence d'un substrat mal assimilé etc...) permet de sélectionner les souches ayant acquis une mutation qui confère un bénéfice dans ces conditions.

ensuite être comparées par séquençage de leur génome et diverses analyses de génomique fonctionnelle afin d'identifier les mutations impliquées, ce qui reste un objectif parfois difficile à atteindre. Une fois identifiées, les mutations peuvent alors être transférées à une autre souche par hybridation.

Les travaux récemment conduits ont visé à réorienter le métabolisme des levures vers la formation de glycérol, sous-produit ayant un impact favorable sur la qualité du vin, au détriment de l'éthanol. A cette fin, une souche œnologique commerciale a été maintenue en culture pendant plusieurs centaines de générations dans un milieu salin contrôlé (en présence de KCl), imposant un stress osmotique afin de favoriser l'apparition et la sélection de mutations naturelles orientant leur métabolisme vers la production de glycérol. Il a ainsi été possible de dévier le métabolisme des sucres vers la formation de glycérol (qui confère au vin de la rondeur, du moelleux) et de 2,3-butanediol (neutre d'un point de vue sensoriel), sans accumulation de métabolites indésirables. Une approche génétique basée sur des croisements de descendants méiotiques de la levure évoluée a permis d'obtenir une souche présentant une déviation métabolique plus importante. La souche finale sélectionnée a été évaluée à l'échelle pilote sur différents moûts de raisin lors des vendanges 2013 et 2014 : les vins obtenus présentent une diminution de la teneur en alcool de 0,6-1 % v/v et contiennent très peu d'acidité volatile. Leur acidité totale est par contre systématiquement plus élevée, ce qui présente un fort intérêt puisque l'augmentation de la teneur en alcool des vins est le plus souvent associée à des pH trop élevés (Tilloy *et al.*, 2014). Des évaluations plus complètes et diversifiées ont été conduites sur les sites de production, en vue de la commercialisation de cette souche.

• **Les technologies de désalcoolisation partielle des vins.** Les techniques envisageables pour extraire l'alcool d'un vin peuvent être des méthodes physiques d'évaporation thermique ou de séparation trans membranaires. Les procédés utilisables ont fait l'objet de revues de synthèse (Scott *et al.*, 1995 ; Pickering, 2000). Certains sont déjà utilisés à l'échelle industrielle : distillation sous vide (Mermelstein, 2000) ; colonne à cônes rotatifs (Makarytchev *et al.*, 2004) et osmose inverse (Bui *et al.*, 1986).

L'abaissement de la teneur en alcool des vins a été étudié expérimentalement dans le cadre d'un programme financé de 2006 à 2009 par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), intitulé « Vins De Qualité à teneur réduite en Alcool » (Escudier *et al.*, 2009). Dans le cadre de ce programme de recherche, différentes technologies applicables au cours du processus d'élaboration des vins ont été étudiées : (i) la diminution de la teneur en sucre (traitement pré-fermentaire par le procédé RTS) (Cottureau *et al.*, 2006), (ii) la désalcoolisation en cours de fermentation et, (iii) la désalcoolisation des vins finis. Pour déterminer le niveau de désalcoolisation à appliquer, un des principaux résultats obtenu dans ce projet a été utilisé, à savoir que la réduction d'alcool dans un vin titrant entre 13% (vol) et 15 % (vol), n'est perceptible qu'à partir de 3% (vol) et qu'il n'y a pas de différence notable entre des sujets entraînés à la dégustation et des consommateurs (Urbano *et al.*, 2007 ; Meillon *et al.*, 2010). Les traitements de désalcoolisation ont ainsi été conduits pour obtenir une réduction de 2% (vol), de façon à ce que les différences observées relèvent peu de la différence de teneur en alcool. Les résultats de trois années d'expérimentation intégrant les approches pré-fermentaire, fermentaire, et post-fermentaire du programme ANR VDQA ont fait l'objet d'une publication de synthèse (Aguera *et al.*, 2009).

Les technologies suivantes ont été utilisées pour le traitement de désalcoolisation post-fermentaire, sur vin fini : (i) la distillation sous vide, (ii) le stripping, (iii) l'osmose inverse (OI) ou la nanofiltration (NF) couplée à des contacteurs à membrane (CM) ou à la distillation, (iv) les contacteurs à membrane (CM). Dans le cas des couplages de procédés à membranes, la première étape du procédé de désalcoolisation (osmose inverse ou nanofiltration) permet de séparer les constituants du vin en extrayant l'éthanol sous forme d'un perméat hydro-alcoolique. La seconde étape, avec le contacteur à membrane, permet d'extraire en partie l'éthanol du perméat selon le

principe de l'évaporation osmotique, en utilisant de l'eau comme solvant, les pores de la membrane utilisée (matériau hydrophobe) étant remplis d'air. Les deux étapes sont conduites en continu, les perméats étant désalcoolisés au fur et à mesure de leur production et réintroduits dans le vin en cours de traitement (Figure 2). Le contacteur à membrane est un carter de fibres creuses microporeuses (0,02 à 0,2 µm) en matériau hydrophobe.

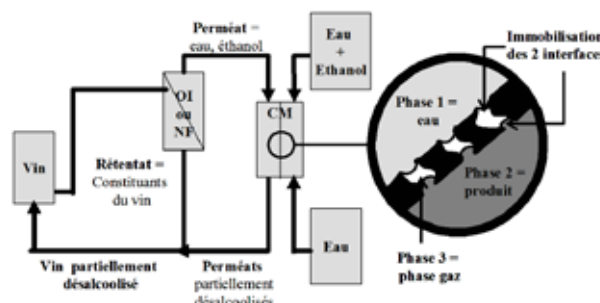


Figure 2 : Désalcoolisation par couplage de procédés membranaires.

Dans le cas des couplages de procédés à membrane à la distillation (OI-D et NF-D), les 2 étapes ont les mêmes objectifs que pour les couplages de procédés uniquement à membranes, la distillation remplaçant l'étape de traitement par contacteur à membrane. La distillation permet contrairement aux contacteurs à membrane de désalcooliser totalement les perméats avant leur réintroduction dans le vin. Lors de nos expérimentations, le couplage procédé à membrane/distillation a été conduit de façon séquentielle et non continu.

• **Réduction du taux d'alcool par voie technologique et qualité des vins.** Les vins élaborés dans le cadre de l'étude ANR VDQA ont été caractérisés par des analyses physico-chimiques et sensorielles. Le coefficient de variation de ces analyses est de l'ordre de 10%. L'analyse sensorielle a été réalisée sur les différents vins issus des expérimentations par un jury expert de 19 juges, en tests de différences tripartites et/ou en analyse descriptive. Il est ainsi apparu que la nanofiltration (NF) en retenant moins de constituants du vin transfère plus d'éthanol dans les perméats. Le traitement d'extraction de l'éthanol est donc plus rapide par nanofiltration que par osmose inverse. En revanche, cette dernière permet une meilleure rétention des composés volatils d'arômes dans le vin traité. La concentration en éthanol dans les perméats étant supérieure lors d'un traitement en NF par rapport à l'OI, il en découle que les quantités de perméats à produire pour un même objectif de désalcoolisation sont supérieures en OI (Tableau 2). Le couplage au contacteur membranaire nécessite une production plus importante de volume de perméat que le couplage à la distillation. Le traitement du vin est donc plus long. Un traitement de désalcoolisation de 4% (vol) nécessiterait une production d'environ 27% de perméat en NF-D et près de 120% en NF-CM avec pour cette dernière une consommation d'eau de l'ordre de 0,6 L / L de vin. Ainsi, une limite raisonnable de traitement de désalcoolisation doit être fixée pour les procédés de couplage à membrane, elle se situe à -3% (vol) environ. Pour le couplage procédé à membrane/distillation la limite est plus basse, mais il reste dans ce cas à valider la qualité sensorielle finale. Les

Tableau 2 : Données comparatives des traitements en couplage désalcoolisation de 2% (vol) d'un vin à 14% (vol).

	OI-D	NF-D	OI-CM	NF-CM
Volume de perméat à produire par litre de vin (%)	-25	-18	-50	-30
Quantité d'eau nécessaire au traitement (Litre eau / L vin)	0	0	0,45	0,3
Nature du co-produit (effluent)	Alcool ≥ 92% (vol)		Eau alcoolisée (OI : -4% (vol), NF : -7% (vol))	

OI : Osmose Inverse, D : Distillation, NF : Nanofiltration, CM : Contacteur membranaire. Valeurs en italique = valeurs estimées par calcul.

sous-produits résultant du traitement sont de nature différente, le retraitement de l'eau alcoolisée du couplage à membrane doit être pris en compte. Il apparaît que le traitement permettant d'obtenir un vin ne se différenciant pas du témoin est le couplage OI-CM. Le traitement par distillation permet aussi d'obtenir dans de nombreux cas, des vins proches du témoin. En revanche, le traitement direct par CM sans étape préalable d'osmose inverse ou de nanofiltration conduit à la production de vins significativement différents du témoin. Il est à remarquer que globalement, les vins désalcoolisés par les différentes technologies ne sont pas significativement différents entre eux.

- Réduction d'alcool et réglementation.** A la suite des travaux du programme VDQA, la désalcoolisation partielle des vins a été autorisée comme pratique œnologique en 2009, dans la limite de 2% vol retirés. Une révision récente de ce règlement ne définit plus cette pratique comme une désalcoolisation partielle mais comme une correction de la teneur en alcool. De plus, le niveau de correction a été révisé en 2013 et correspond maintenant à un taux de 20% du degré initial du vin (voir annexe réglementation ci-après). Ce taux de 20% correspond au seuil de perception de la correction d'alcool (Meillon *et al.*, 2010). L'INAO pour les vins AOP limite la possibilité de diminution du degré d'alcool à 2% (vol). Pour ces ajustements, il s'agit de pratiques œnologiques, elles ne font pas l'objet d'informations ni d'étiquetage particulier. Au-delà de 20% et jusqu'au degré minimum du vin (9% vol), l'information du consommateur sera nécessaire sur l'étiquetage. L'analyse socio-économique des expériences professionnelles en cours, a permis de confirmer que l'accès aux techniques de désalcoolisation (Montaigne, 2012) ne constitue plus un verrou au développement des vins à teneur réduite en éthanol. Le traitement de correction de la teneur en alcool des vins est actuellement accessible pour les producteurs de vin par le biais de prestataires de services proposant de réaliser le traitement à façon sur le site de production (unité mobile de traitement, société Gemstab option couplage OI/NF et société Paetzold, option couplage OI/ distillation). En Espagne, en Australie, aux USA, d'autres options sont aussi appliquées en particulier l'évaporation sous vide en film mince sur colonne à plateaux tournants (Spin cone column), (Makarytchev *et al.*, 2004)

2.2 Correction de l'acidité

Le niveau du pH joue un rôle important sur les caractéristiques organoleptiques des vins ainsi que sur leur évolution, les pH élevés favorisant les phénomènes d'oxydation et les développements microbiens du fait de la moindre efficacité du SO₂. L'élévation des pH des moûts et des vins constatée depuis une quinzaine d'années, notamment dans les zones viticoles aux étés secs et chauds, pose des problèmes accrus aux œnologues. C'est pourquoi dans ces circonstances, l'œnologie recherche les moyens techniques susceptibles d'abaisser le pH des vins. Les valeurs de pH jugées très fortes ne sont généralement pas dues exclusivement à un déficit de la teneur en acides organiques (qui sont des acides faibles) mais plutôt à un excès de cations et principalement le potassium (sel de base forte). Par ajout d'acide tartrique, l'acidification est, en règle générale, une opération traditionnelle qui reste difficile à maîtriser. La prédiction du pH résultant est, de plus, aléatoire. Il a pu être constaté, par ailleurs, que l'excès d'acide tartrique rajouté comme « acidifiant » peut conduire à des vins qualifiés de durs, asséchants et métalliques. Compte tenu de l'équilibre de salification des acides organiques du vin, l'acidification doit viser à la modification du pH et non de l'acidité titrable comme l'a montré Usseglio-Tomasset (1989), ce qui revient à augmenter la proportion d'acides libres au détriment des formes salifiées. Les vins étant des solutions « tampons », car ils renferment essentiellement des acides faibles en présence de leurs sels de bases fortes, l'effet acidifiant sera la conséquence d'une diminution de l'alcalinité des cendres.

- Correction de l'acidité et maîtrise du pH à partir des procédés électro-membranaires.** L'acidification des vins peut maintenant être réalisée par voie électro-membranaire. Cette technologie a été mise au point à la suite du traitement de stabilisation tartrique des vins par électrodialyse, nouvelles approches de stabilisation des vins étudiées

par l'Inra depuis 1994 (Moutounet *et al.*, 1994). Les procédés électro-membranaires, dont le principe du fonctionnement a été décrit par Gavach (1998), permettent d'extraire des ions de solutions. Ils mettent en œuvre des membranes denses (non microporeuses) à perméabilité sélective. Ces membranes selon leur type (anionique, cationique, bipolaire) permettent le transfert uniquement d'anions ou de cations. Le transfert des ions est assuré par l'application d'un courant électrique continu entre deux électrodes (différence de potentiel électrique). Les conditions opératoires hydrodynamiques simplifiées facilitent l'inertage lors du traitement pour la maîtrise de la dissolution d'oxygène dans le vin (Vidal *et al.*, 2003). La combinaison de membranes utilisée sur l'appareil de traitement (anionique/cationique, bipolaire/cationique ou bipolaire/anionique) détermine la nature de l'extraction ionique et par conséquent le champ d'application pour le traitement des vins. L'extraction spécifique des cations, essentiellement du potassium, à travers une membrane cationique et le déplacement des équilibres acido-basiques des sels organiques par la présence de la membrane bipolaire, induit une acidification du vin, contrôlé en continu par la mesure du pH (Figure 3). Il résulte de ce traitement, une acidification du vin traité, par déplacement des équilibres acido-basiques des sels d'acides organiques du vin. Ce traitement d'acidification est maîtrisé et fiabilisé par le suivi en ligne du pH du vin.

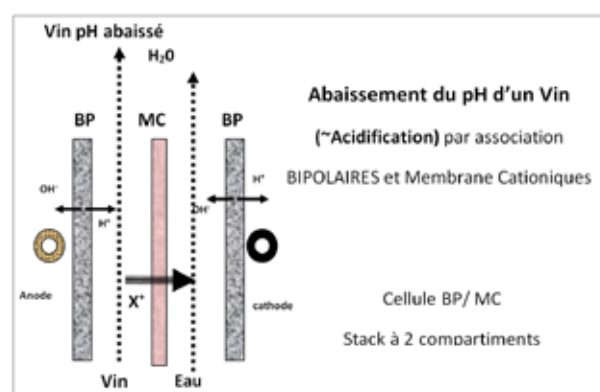


Figure 3: principe de l'acidification membranaire. MC = membrane mono-polaire cationique ; BP = membrane bipolaire ; X+ = cations du vin

L'œnologue peut ainsi décider de la baisse de pH à appliquer au vin en fonction de sa connaissance du vin traité (Lutin *et al.*, 2007) et de l'objectif commercial. Ceci se fait avec précision par un simple capteur en ligne, en l'occurrence un pHmètre. Les conditions de mise en œuvre de procédé sont proches de celles connues du procédé de stabilisation tartrique par électrodialyse, mais avec un empilement membranaire spécifique. Le traitement peut techniquement être réalisé sur moût ou vin centrifugé, vin bien soutiré après la fin des fermentations ou vin préfiltré à 25 microns. Ce nouveau procédé, sans additif permet d'obtenir des vins plus acides dont les conditions d'évolutions organoleptiques ont été analysées sur plusieurs qualités de vin rosé, rouge, blanc et à différentes températures de conservation (Escudier *et al.*, 2011). En analyse sensorielle, des descripteurs ont permis de différencier significativement les vins témoins des vins abaissés en pH. En effet, la baisse de pH fait que le jury perçoit le vin plus acide et moins amer et avec une tendance moins astringente. Contrairement aux vins abaissés en pH, on observe pour les vins témoins de forts effets liés au temps et à la température. Les vins témoins évoluent en perdant en caractères pâtisserie et en gagnant en caractères épicés et oxydés. De plus, la nuance de la couleur évolue de violet à orangé. Pour les vins abaissés en pH, on n'observe aucune évolution en fonction du temps et de la température sur l'ensemble des descripteurs. Cela montre que le traitement procure au vin une stabilité (Figure 4). Dans un contexte global d'évolution climatique qui se traduit par une hausse régulière des pH des vins, l'impact spécifique du stress hydrique aggrave le plus souvent cette évolution. Ce traitement d'acidification assure,

Granes D., Bouissou D., Lutin F., Moutounet M., Rousseau J., 2009. L'élévation du pH des vins : causes, risques œnologiques, impacts de la mise en œuvre de moyens d'acidification. Bulletin de l'OIV, 82, 57-70

Kovac V., Alonso E., Bourzeix M., Revilla E., 1992. Effect of several enological practises on the content of catechins and proanthocyanidins of red wine. J. Agric. Food Chem., 40,1 1953-1957.

Lutin F., Boissier B., Bonneau D., Le Gratiot Y., 2007. Alternative au tartrage des vins, l'acidification par électrodialyse bipolaire. 8ème Symposium International d'œnologie Bordeaux 25/27 juin 2007

Makarytchev S.V., Languish T.A.G., Fletcher D.F., 2004. Mass transfer analysis of spinning cone columns using CFD. Chem. Eng. Res. Des., 82 (6) 752.

Meillon S., Urbano C., Shlich P., Juin 2010. Goût et acceptabilité des vins à teneur réduite en alcool. Rev. des œnologues 136, 52-54.

Mermelstein N.H., 2000. Removing Alcohol from Wine. Food Technol., 54, 11, 89.

Montaigne E., Salmon C., Cottureau P., 2013. Coûts des nouvelles techniques de désalcoolisation.colloque IFV Narbonne, 30/1/2013.

Moutounet M., Escudier J.L., Saint-Pierre B., 1994. L'électrodialyse, adaptation à la stabilisation tartrique des vins. In : Donéche B. (Ed), Les acquisitions récentes dans le traitement des vins. Lavoisier Tech et Doc Paris, 103-115.

Pickering G.J., 2000. Low-and reduced-alcohol wine: a review. Journal of Wine Research, 11(3), 129.

Muller K., Picou E., Souquet JM., Moutounet M., Cheynier V., Samson A., 2007. The influence of pH and late micro oxygenation on sourness, bitterness, and astringency of red wine.2007. 8eme Symposium d'œnologie de Bordeaux.

Ollat N., Touzard J.M., 2014. Impacts and adaptation to climate change : new challenges for the french wine industry, J. Int. Sci. Vigne Vin, N° Special Laccave, 75-78.

Pons A., Lavigne V., Darriet P., Dubourdiou D., 2012. Identification et impact organoleptique de la massola lactone dans les raisins du cépage Merlot et les vins rouges, In : Actes de colloques du 9ème symposium international d'œnologie de Bordeaux (OENO 2011), Dunod, pp. 851-854.

Sa-Correia I., Van Uden N., 1986. Ethanol-induced death of *Saccharomyces cerevisiae* at low and intermediate growth temperatures. Biotechnology and Bioengineering, 28, 301-303.

Schüttler A., Fritsch S., Hoppe J. E., Schüssler C., Jung R., Thibon C., Gruber B. R., Lafontaine M., Stoll M., de Revel G., Schultz H. R., Rauhut D., Darriet P., 2013. Facteurs influençant la typicité aromatique des vins du cépage de *Vitis vinifera* cv. Riesling. Aspects sensoriels, chimiques et viticoles, Rev. Œnologues, 149S, 36-41.

Scott J.A., Cooke D.E., 1995. Continuous gaz (CO₂) stripping to remove volatiles from an alcoholic beverage. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 53, 63.

Tilloy V., Ortiz-Julien A., Dequin S., 2014. Reduction ethanol and improving glycerol yield by adaptative evolution of *Saccharomyces cerevisiae* wine yeast under hyperosmotic conditions. Appl. Environ. Microbiol. 80 (8), 2623-2632.

Urbano C., Dupressoir C., Samson A., Cordelle S., Guillot G., Schlich P., 2007. R-index and triangular tests to determine the perception threshold of a reduction of alcohol content in wine. 7th Pangborn Sensory Science Symposium – Minneapolis USA.

Usseglio-Tomasset L., 1989. Chimie Œnologique. Ed Lavoisier Paris.

Vidal J.C., Boulet J.C., Moutounet M., 2003. Les apports d'oxygène au cours des traitements des vins. Bilan des observations sur site. 2eme partie. Revue Française d'œnologie 201