

Innovations technologiques en œnologie : Quelles conséquences ?

J.L. ESCUDIER, A. SAMSON, M. MOUTOUNET, J.M. SALMON, M. BES
INRA, UE 999, Domaine de Pech Rouge, 11430 Gruissan

Résumé

La technologie permet une approche intégrée dans le domaine de l'œnologie : Œnologie de précision, traçabilité en ligne, pilotage et adaptation de la qualité des vins, segmentation des marchés font partie des marqueurs qui se mettent en place à l'appui des progrès technologiques récents, membranaires en particulier. La réglementation accompagne régulièrement ces évolutions techniques. La traduction sur le terrain, dans un cadre préalable de limitation des phénomènes d'oxydation, concerne en particulier la réduction de la teneur en alcool des vins jusqu'à 20% de leur teneur, la maîtrise précise par membrane d'électrodialyse de la stabilisation tartrique des vins, de l'ajustement sans intrant du pH (à la baisse ou à la hausse), la maîtrise de la biomasse levurienne ou bactérienne des vins, la maîtrise pilotée de la fermentation alcoolique des vins. Tous ces leviers technologiques nouveaux permettent à l'œnologue d'être pro-actif et d'agir dès la récolte et la vinification, sur les composés du vin. A côté des innovations technologiques, de nouveaux intrants sont proposés pour mieux stabiliser les vins. Ces nouveaux champs d'application (maîtrise et diversification de la qualité) posent de nouvelles questions à la filière, y compris pour les vins issus de l'agriculture biologique dans sa stratégie d'adaptation aux marchés ou tout simplement au changement climatique.

Mots clefs : vin, œnologie, membranes, vinification, alcool, pH, stabilisation tartrique.

Summary

New technologies enable an integrated approach in the wide field of oenology : precise winemaking, with online tracking and monitoring, and adaptation of the quality of wines, market segmentation, represent the main markers that support the recent technological developments (such as membrane technologies). Strong regulations regularly follow these technical developments. At the field scale, with the first aim to limit the oxidation phenomena, such new technologies concern in particular the reduction of the alcohol content of wine to 20% of its contents, the precise control of the tartaric stabilization of wines by electrodialysis, with also the adjustment of its pH (downward or upward), the control of bacterial or yeast biomass in wines, and the precise control of alcoholic fermentation. All these new technological levers allow the winemaker to be pro-active and to precisely act during harvest and vinification, on the production of wine compounds. In addition to these technological innovations, new inputs are available to better stabilize wines. These new fields of application, dedicated to the control and the diversification of quality, address new questions to the industry, including wines from organic farming in its strategy of adaptation to the market or simply to the climatic change.

Key words : wine, enology, membranes, winemaking, alcohol, pH, tartaric stabilization.

1. Introduction

Innover, c'est produire du nouveau (méthodes, objets, services) pour l'installer sur le marché au travers des acteurs de la société. Il n'y a pas d'innovations sans invention, mais il existe beaucoup d'inventions qui ne produisent aucune innovation. Les pratiques œnologiques ont beaucoup évolué ces dernières années. L'OIV (Organisation Internationale de la Vigne et du Vin) au sein de ses groupes d'experts, étudie de façon régulière, les demandes des équipes de recherches, publiques et privées ainsi que d'organisations professionnelles ou d'équipementiers. Ces demandes sont portées par les acquis de connaissance et souvent par des potentialités technologiques nouvelles, à titre d'exemple le cas, en particulier, de l'utilisation des technologies à membranes peut être cité. Ces nouvelles connaissances ont comme support la composition du vin et les interactions entre ses composés pour une meilleure maîtrise de la qualité du vin et de sa stabilité.

La mondialisation du vin a remis en cause la géographie viticole mondiale, les modes traditionnels de consommation et les représentations attachées au vin et à son commerce. La délocalisation croissante des ateliers de conditionnement de certains vins, des lieux de production vers les lieux de nouvelles consommations, est aussi un facteur d'évolution de la filière viti-vinicole. Il est maintenant généralement admis, plus que par le passé, que l'élaboration de produits doit être mieux adaptée aux attentes et aux goûts des consommateurs.

L'évolution démographique récente s'est par ailleurs accompagnée d'une préoccupation grandissante pour la santé et le bien-être qui se retrouve dans les comportements alimentaires. Parallèlement, les politiques publiques de sécurisation et traçabilité des productions agro-alimentaires associées à des cahiers de charges de plus en plus précis sur les produits pour leur commercialisation et consommation, conduisent à étudier des procédés et technologies pouvant fiabiliser, sécuriser et assurer la traçabilité des traitements. Cette évolution n'épargne pas le monde du vin qui doit maintenant sur certains points répondre à ces exigences.

A ce contexte évolutif s'ajoute enfin, depuis une vingtaine d'années, les effets de l'évolution climatique. A titre d'exemple concret, les relevés de la station météorologique de l'INRA Pech-Rouge, depuis 22 ans (Figure 1), montrent que depuis 1999 le bilan hydrique mesuré sur la période végétative est constamment négatif contrairement aux périodes antérieures.

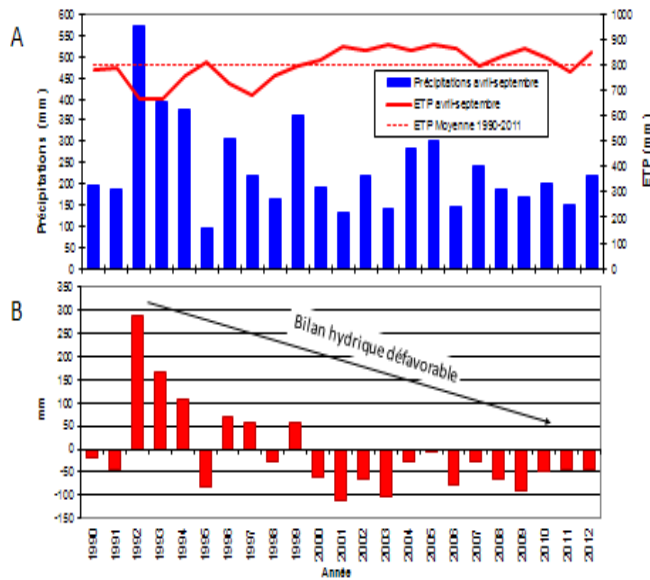


Figure 1. Bilan hydrique de 1990 à 2012

A: Evolution de l'évapotranspiration potentielle totale (ETP) et des précipitations ; B: Evolution de l'Indice de Sécheresse (IS: Tonietto et Carbonneau 2004). Période avril – septembre. Période 1990-2012. INRA, Unité Expérimentale de Pech Rouge, Gruissan, France.

La moyenne des analyses annuelles d'un millier de vins du bassin de production narbonnais (Figure 2) réalisée par le laboratoire Dubernet depuis 29 ans, montre de façon très significative, voire spectaculaire, l'évolution de la composition des vins en terme de teneur en éthanol, de pH, et d'acidité.

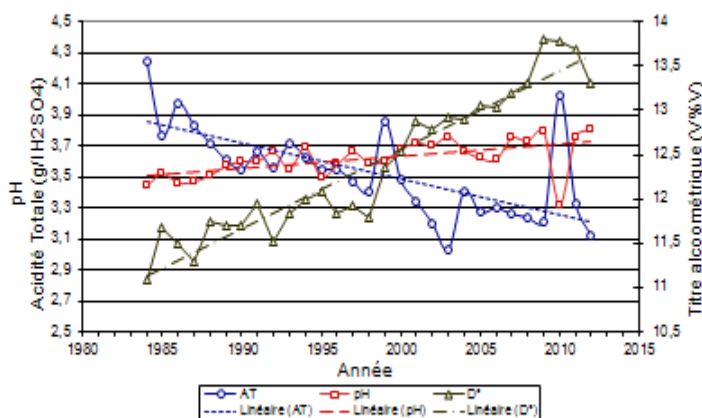


Figure 2. Evolution de la composition analytique des vins (acidité totale, pH, alcool) depuis 1984.

Source: Laboratoire Dubernet, Narbonne
Suivi de vins du Languedoc-Roussillon, bassin narbonnais

Même si tout n'est pas à relier à l'évolution climatique, ne rien faire conduit à élaborer des vins plus alcoolisés, moins acides, avec des conséquences parfois négatives en termes de stabilité, de maîtrise de la qualité et d'adaptabilité au marché. En fait, rester inactif face à ces évolutions, revient, de fait, à subir un changement inéluctable de la qualité des produits.

Des travaux expérimentaux initiés et menés depuis les années 1990 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, pouvant être qualifiés maintenant d'innovants car transférés significativement vers les professionnels de la filière, et ce dans l'ensemble des régions viticoles mondiales. Grâce aux résultats des recherches en viticulture-œnologie, les règlements et autorisations concernant les pratiques œnologiques évoluent régulièrement. Ces nouvelles pratiques, dont les plus récentes ont été autorisées en février 2013, offrent désormais à l'œnologie, une précision et maîtrise d'action accrue pour adapter et diversifier l'offre.

Un nouveau concept d'œnologie dite « de précision », émerge et se décline à ce jour sur certaines des opérations unitaires de la vinification tout au long de l'itinéraire : éraflage, pressurage, fermentation, extraction, stabilisation, conditionnement (Escudier et al, 2012). Cette nouvelle maîtrise des différentes étapes exige aussi moins d'intrants (Salmon, 2012). Pour les vins, il s'agit entre autre de contrôler leur stabilité et leur équilibre organoleptique.

Ces spécificités répondent à des défis scientifiques et technologiques. Voici quelques exemples de recherche aboutis ou en cours de finalisation, pour répondre, soit aux nouveaux cahiers des charges qualitatifs des vins, soit à des besoins de diversification des vins, ou bien encore à la prise en compte des évolutions des vins pour leur correction et adaptation.

2. Exemples d'inventions technologiques innovantes en œnologie aux différentes étapes du processus d'élaboration des vins

2.1 Préparation de la vendange

Au début du processus de vinification, les innovations marquantes portent, d'une part, sur l'étape d'éraflage, et d'autre part, sur celle du tri mécanique. Ces étapes réalisées traditionnellement à la cave, sont désormais embarquées sur la machine à vendanger, ou automatisées par un tri visionique au quai. L'amélioration du tri sélectif est telle, qu'elle permet d'éliminer en ligne quasiment toutes les fractions vertes (raffes et pétioles) et de limiter des opérations séquentielles sources de dissolutions successives d'oxygène. Ces éléments contribuent à avoir en cave une vendange plus qualitative, sous forme de baies.

Différents types de fouloirs ont été développés dans le but d'améliorer les étapes d'extraction. Ainsi, très récemment un nouveau type de fouloir, le fouloir dynamique, permet une extraction plus rapide et améliorée des moûts par ouverture totale des baies (Arnaud et al. 2012).

2.2 Thermo-traitement pour la préparation des moûts

A l'échelle mondiale, de plus en plus de sites de production, pratiquent la vinification en rouge en phase liquide pour une part grandissante au détriment de la vinification traditionnelle en phase solide. C'est notamment le cas dans les grandes unités de production. Cette évolution découle de l'apparition et du développement des technologies de thermovinification qui font appel au chauffage de la vendange.

Parmi celles-ci, la technologie de Flash-Détente consistant en un traitement de chauffage associé à une mise sous vide fait partie des innovations remarquables. Ainsi la baie de raisin n'entre plus systématiquement à l'intérieur des cuves de fermentation car les étapes d'extraction s'effectuent en amont de la fermentation alcoolique.

Le niveau requis de clarification des moûts (plus ou moins poussé), pour des fermentations adaptées en phase liquide, permet d'élaborer des vins aux caractéristiques différenciées selon les objectifs de l'œnologue, (Desseigne et al. 2012, Bes Vidéo Entretien vigne et vin en LR 2012)

2.3 Extracteur centrifuge

Traditionnellement, l'extraction du moût est réalisée pour les itinéraires en blanc et rosé par des procédés discontinu de pressurage (presseur pneumatique) ; pour les itinéraires en rouge cette extraction est réalisée comme précédemment en discontinu ou bien en continu à l'aide de presseurs mécaniques ce qui conduit à des moûts plus chargés (bourbeux) et moins qualitatifs. L'étape emblématique du pressurage, pneumatique ou mécanique, peut être remplacée maintenant par un traitement en ligne continu sur un décanteur centrifuge à vis horizontal.

Cet outil permet d'extraire le jus, avec un rendement comparable à celui des presseurs, et avec un niveau de clarification généralement adapté à la vinification, notamment, dans le cas des moûts blancs et rosés. Concernant, l'extraction des moûts de thermo-traitement, il convient le plus souvent, de parfaire cette clarification par une étape complémentaire (Bes M., 2012, lien vidéo). Les améliorations technologiques des décanteurs horizontaux, pour le secteur vinicole, ont permis d'implanter cette technologie en alternative au pressurage. L'utilisation d'un décanteur centrifuge, dans un itinéraire de thermo-traitement, permet de remplacer avantageusement l'étape du pressurage par presseur pneumatique, en atteignant des niveaux très comparables de rendement d'extraction et de turbidité des moûts (Eudier et al. 2011).

Le travail en continu sur une telle machine est l'un de ses atouts, puisqu'il supprime le goulot d'étranglement du pressurage traditionnel. De plus, cette technologie permet potentiellement une protection adaptée vis-à-vis des phénomènes d'oxydation enzymatique. En effet, il offre la possibilité de maîtriser les effets de la dissolution d'oxygène dans les moûts par ajout de la juste dose de SO₂ (ou d'autres substances réductrices) au moment précis de l'extraction. L'implantation de décanteurs centrifuges s'est d'abord faite dans d'importantes unités industrielles de vinifications. C'est le cas en particulier en Afrique du Sud (Namaqua), en Argentine (Trivento), au Chili (Lourdes), en France (Trèbes).

2.4 Suivi en ligne et pilotage de la fermentation alcoolique

A l'issu de la préparation et de l'extraction des moûts, il s'agit aussi d'améliorer le contrôle de la fermentation alcoolique. Un ensemble de programmes concerne le pilotage des fermentations, cette thématique est dirigée scientifiquement par l'UMR SPO (Sablayrolles et al. 2011) en lien avec des partenariats industriels (société VIVELYS). L'objectif est d'optimiser le contrôle de la fermentation en prenant en compte la variabilité de la composition des moûts, grâce à un suivi en ligne de la cinétique fermentaire, afin d'achever la fermentation des sucres, y compris sur les moûts connus pour être les moins fermentescibles. Ainsi, pour l'œnologue, il est maintenant possible, en connaissant la composition initiale du moût (sucre, azote) de maîtriser les cinétiques de fermentation (température de régulation, complémentation en azote, ajout d'oxygène) et ainsi de les sécuriser.

Ce dispositif est maintenant utilisé sur un nombre croissant de cuves industrielles. Il assure aussi la traçabilité des fermentations. La prochaine étape consistera à utiliser le pilotage pour orienter le profil aromatique des vins. Pour avancer en ce sens, l'analyse en ligne de la production des principaux arômes fermentaires est d'ores et déjà possible à l'échelle expérimentale (Morakul et al. 2013) avec une estimation non seulement de l'accumulation des composés dans le milieu mais aussi des pertes dans le gaz effluent (fortement influencée par la température de la fermentation).

2.5 Traitement des vins

2.5.1 Les procédés électro-membranaires :

Concernent la famille des procédés électro-membranaires, les potentialités de ces techniques en termes de nouvelles pratiques œnologiques, ont été identifiées depuis 20 ans par l'INRA (Moutounet et al. 1994). Ces procédés électro-membranaires créent au fur et à mesure de leurs évolutions de véritables ruptures technologiques en permettant des extractions quantifiées et orientées d'ions.

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

Des travaux de recherche INRA en partenariat avec la société EURODIA, ont démontré que l'extraction simultanée d'anions et de cations, résultant de l'alternance de membranes anioniques et cationiques permettait de réaliser **le traitement de stabilisation tartrique des vins**. Cette acquisition de la stabilisation tartrique par procédé électro-membranaires est autorisée, y compris sur vin AOP, depuis Janvier 2002. La fiabilité du procédé est liée à un test de contrôle commande, basé sur la mesure du Degré d'Instabilité Tartrique de la cuvée à traiter (DIT, déterminant la chute de conductivité à atteindre, Moutounet et al, 2010).

Le suivi en ligne du traitement est alors assuré par mesure de la conductivité (Moutounet et al, 2009), ce qui permet un traitement parfaitement maîtrisé et fiable.

Actuellement, EURODIA-OENODIA a maintenant 200 références industrielles, fixes ou mobiles, en fonctionnement dans l'ensemble du monde viticole.

L'extraction uniquement de cations, essentiellement potassium, est conduite par la mise en œuvre d'une alternance de membranes cationiques et bipolaires ; 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 fiable par le suivi en ligne du pH du vin. L'acidification par les procédés électro-membranaires est autorisée en tant que pratique œnologique depuis janvier 2011, elle est maintenant disponible à échelle industrielle. Elle est aussi accessible sous la forme de prestation de service.

L'extraction des anions du vin, principalement les acides organiques (tartrique, malique, lactique), résulte de l'utilisation sur l'appareil électro-membranaire, d'une alternance de membranes anioniques et bipolaires. Cette extraction maîtrisée des acides organiques permet **une désacidification du vin** et par conséquent une augmentation de son pH. Là aussi le traitement est maîtrisé et fiable par suivi en ligne du pH du vin traité. Ce traitement est autorisé comme pratique œnologique depuis février 2013.

La désacidification par membrane constitue donc une alternative avantageuse aux traitements chimiques (Rozoy et al, 2013) annexe réglementation ci-après ref. R1, R2, R3 précise les références OIV et réglementaires UE de ces applications.

2.5.2 Résines échangeur de cation :

Il ne s'agit plus d'extraction d'ions, mais d'échanges d'ions avec les protons des solutions de régénération des résines (acide chlorhydrique en général) (Escudier et al. 2012). La réglementation permet également depuis février 2013 l'utilisation des échangeurs cationiques (résines) pour l'acidification des vins.

Cette approche est moins onéreuse en termes d'investissements que les procédés électro-membranaires. En revanche, elle génère des volumes et des natures d'effluents, liés à la régénération des résines, plus conséquents. Ceci est de plus en plus pris en compte dans l'évaluation globale du procédé (Bories et al. 2012).

Le traitement en ligne est rendu plus difficile, car la résine fixe l'ensemble des cations du vin jusqu'à sa saturation et nécessite alors une régénération pour poursuivre le traitement. Anciennement développées aux USA et Australie sur vins de table, ces technologies par résines tendent à être abandonnées dans les pays du nouveau monde, mais elles suscitent pour leur faible coût d'investissement un intérêt nouveau dans les pays producteurs traditionnels de vin.

Les récents avis de l'OIV admettent deux options : ajout direct de résine dans la cuvée aux doses requises, traitement en batch par résine, mais avec réincorporation nécessaire du vin traité par résine avec le vin non traité, dans les proportions requises pour assurer la stabilité du vin. (Voir annexe réglementation, R4)

2.5.3 Les technologies de désalcoolisation partielle des vins

L'abaissement de la teneur en alcool des vins a été étudié dans le cadre d'un programme financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), intitulé Vins De Qualité à teneur réduite en Alcool (Escudier et al 2009). Il a été démontré dans ce programme que la réduction de la teneur en alcool sur vin fini est réalisable par différentes techniques. Cependant, les techniques membranaires de couplage Osmose Inverse – Contacteur Membranaire (OI-CM) présentent une meilleure adéquation en termes de procédés, de conduite et de respect de la définition du vin (Aguera et al. 2009 [1], Cottureau et al. 2007). Le passage du vin dans l'osmose inverse permet de retenir dans le retentat l'ensemble des constituants du vin et d'obtenir de l'autre côté de la membrane un perméat correspondant à une solution hydro-alcoolique (alcool et eau du vin). Ce perméat est alors partiellement désalcoolisé par passage dans le contacteur à membrane avant réintroduction dans le retentat d'osmose inverse. Ainsi le vin voit sa teneur en alcool réduite et retrouve sa concentration initiale. L'extraction de l'alcool des perméats par contacteur à membrane nécessite l'utilisation d'un solvant d'extraction, qui dans ce cas est de l'eau. Il est à noter que la Nanofiltration peut remplacer l'osmose inverse, occasionnant quelques pertes d'arômes toutefois acceptables, et que le contacteur à membrane peut être remplacé par la distillation (désalcoolisation complète du perméat permettant un traitement plus court mais de couplage plus délicat).

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%v/v 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 et correspond maintenant à un taux de 20% de degré initial du vin. (Voir annexe réglementation ci-après R5). Ce taux de 20% correspond au seuil de perception de la correction d'alcool (Meillon et al, 2010).

L'analyse socio-économique des expériences professionnelles en cours, a permis de confirmer que l'accès aux techniques de désalcoolisation (Montaigne et al, 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 et société Paetzold).

2.5.4 Microfiltration tangentielle :

La filtration des vins doit permettre la rétention des particules, levures, bactéries, responsables du trouble, pour atteindre le niveau de limpidité et la stabilité microbiologique requises pour la commercialisation. A ceci, se sont rajoutés des critères demandés par le négoce au niveau international, à savoir de rétention des levures et bactéries, pouvant aller jusqu'à des vins pauvres en germes afin d'assurer une stabilité microbiologique plus forte de ces derniers. Pour atteindre simultanément ces objectifs en une seule étape, beaucoup de travaux ont été conduits sur la MicroFiltration Tangentielle (MFT) (Moutounet et al, 1998). Il s'agissait d'adapter la membrane aux spécificités des caractéristiques physico-chimiques du vin et non l'inverse. Les progrès réalisés en termes de fabrication de membranes, tant minérales qu'organiques, la mise en place de technologies de décolmatage en ligne ont permis aux œnologues de mieux répondre aux divers cahiers des charges du négoce.

Les installations les plus abouties ont maintenant comme support des couplages filtration tangentielle–procédés électro-membranaires offrant un traitement en ligne du vin brut pour une mise en bouteille rapide (Moutounet et al. 1998). Ce couplage de technologies en ligne permet d'assurer limpidité, stabilité microbiologique et stabilité tartrique des vins. Il s'agit d'une véritable avancée pour les centres de conditionnements producteurs. En effet, ces traitements continus en ligne automatisés sécurisent et préservent d'une part la qualité des vins mais aussi offrent maîtrise et traçabilité de ces opérations finales permettant aux producteurs de garantir une qualité de produit à leurs clients.

A titre d'exemple le système Memstab d'Oenodia (Legratiet et Lecoeuvre, 2008) est décliné aussi en unités mobiles pour un traitement à la propriété. L'objectif demeurant maintenant au niveau industriel et d'optimiser le gain de productivité au travers de meilleurs flux membranaires sur des unités compactes.

2.5.5 Les contacteurs à membrane pour la gestion des gaz dissous

Des recherches concernant la gestion en gaz dissous à la mise ont abouti au niveau expérimental à un outil permettant, la maîtrise des gaz dissous par voie membranaire (maîtrise à la hausse ou la baisse des teneurs en CO₂ et O₂.) (Vidal et al. 2011). Les études se poursuivent pour définir un outil automatisé pouvant s'intégrer dans la chaîne d'embouteillage et garantir ainsi les teneurs en gaz du vin soit pour améliorer sa conservation et sa préservation, soit pour jouer sur la perception sensorielle (perlant, fraîcheur, acidité). Selon les résultats des recherches sur les aspects de pilotage de l'outil (capteur en ligne, automatisation), ceci pourrait faire aussi l'objet de nouveaux traitements en prestation à court terme.

3. Discussion

Au travers des exemples précédents, il apparaît, que les travaux de recherche à la parcelle de vigne, à la cave, ou au chai, ont fait émerger diverses inventions technologiques. Ces dernières, accompagnées du cadre réglementaire permettant leur autorisation et pratique sont devenues de véritables innovations. Ces inventions adoptées par les professionnels de la filière ont permis au secteur viti-vinicole d'innover, aussi bien par la diversification des activités, par l'émergence de nouveaux métiers (prestataires) que pour mieux maîtriser ou diversifier les caractéristiques et la qualité des vins.

3.1 Conséquence pour la recherche :

Les nouvelles techniques d'extraction de la matière végétale, en générant de nouveaux types de moût, posent de nouvelles questions de recherche, notamment en termes de conséquences sur la biodisponibilité des nutriments pour les levures ou bien encore d'efficacité des procédés des étapes suivantes. La recherche se doit de prendre en compte ses modifications pour déverrouiller les points critiques et proposer des solutions.

A l'écoute des professionnels, elle peut par la mise en place de nouvelles études, répondre aux problématiques qu'ils soulèvent. De même, dans un contexte où la traçabilité des produits, la fiabilisation et sécurisation des produits est de plus en plus importante, la recherche doit poursuivre ces efforts. Il s'agira par exemple de définir et permettre la production de nouveaux matériaux membranaires plus sélectifs, pour la réduction d'alcool, les échanges de gaz dissous par exemple.

3.2 Conséquences pour les équipementiers : développement de nouvelles branches d'activités, de nouvelles divisions

Certaines sociétés au travers d'un travail de recherche en partenariat avec l'INRA notamment, ont été à l'origine ou ont contribué à des inventions. Ces sociétés ont su par la suite transformer ces inventions en innovation en s'appuyant sur les résultats de la recherche et en mettant en place une véritable stratégie de transfert et d'innovation. Pour cela, elles ont mis en œuvre les moyens nécessaires au sein de leur entreprise. Ces moyens sont de nature différente : financiers pour la fabrication, humains en recrutant des ingénieurs, des œnologues et techniciens pouvant accompagner le développement et la diffusion sur le terrain des nouvelles technologies. Cette stratégie implique bien souvent la création d'une nouvelle branche d'activité au sein de l'entreprise pour un développement optimisé.

Par exemple, la Société PELLENC, équipementier reconnu d'outils et machines pour les travaux aux champs en agriculture, notamment dans le secteur de l'oléiculture et de la viticulture, a créé au sein de son entreprise une division œnologie. Cette division a permis l'implantation de la société à l'entrée des chais en proposant de nouveaux outils de tri de la vendange et de traitement de la vendange (cf. § 1.2.).

C'est aussi le cas, de la société EURODIA, spécialisée dans les traitements par voie membranaire pour les industries agroalimentaires qui a développé une division dédiée au traitement des vins, OENODIA (cf. § 1.5.1.). En plus, du travail d'adaptation des procédés électro-membranaires au produit vin au travers des travaux en partenariat avec l'INRA, la société toujours dans le cadre de ce partenariat a dû co-construire des dossiers techniques pour obtenir l'autorisation d'utilisation de ces procédés en tant que pratiques œnologiques.

Enfin, la société ALFA-LAVAL, équipementier mondial en agroalimentaire -spécialisé dans les équipements de traitements thermiques, de séparation, de transfert des liquides- a choisi de diversifier ses domaines d'application en pénétrant le secteur vinicole. L'étude de l'intégration du décanteur centrifuge dans les itinéraires d'élaboration du vin dans le cadre d'un contrat de recherche en partenariat avec l'INRA (cf § 1.3.) va dans ce sens. La particularité de cette innovation est qu'il s'agit là de parfaire l'adaptation d'une technologie déjà développée dans d'autres secteurs de l'agroalimentaire (olive, jus de fruits).

D'autres entreprises ont recruté des ingénieurs ou des chercheurs, souvent issus de la recherche publique pour conforter leur champ d'action à l'international.

Les sociétés élaborant des matériaux membranaires, compte tenu de l'importance sur secteur viticole au niveau mondial, seront amenées à évoluer.

3.3 Conséquences pour les producteurs de vins, les œnologues, les négoce : vers une meilleure maîtrise des produits, et de nouvelles capacités de diversification.

Les technologies de thermovinification largement implantées sous différentes configurations dans les caves sont en constante évolution et de nouvelles conduites du procédé ou des modes de vinification à l'issu du thermo-traitement émergent comme le propose notamment la société PERA (Mikolajczak et al. 2011). Les itinéraires techniques intégrant ces procédés très diversifiables (enzymage ou non, température et durée de macération pré-fermentaire, vinification en phase liquide ou solide, pour cette dernière durée de macération en vinification, clarification plus ou moins poussée dans le cas de la vinification en phase liquide...) permettent véritablement à l'œnologue responsable de la production d'adapter le traitement au type de vin qu'il souhaite élaborer pour répondre aux marchés.

Une autre innovation d'intérêt pour les œnologues et les caves est l'implantation de systèmes industriels de suivi en ligne de la fermentation. Ces systèmes offrent la possibilité à l'œnologue, en jouant sur les caractéristiques initiales du moût (niveau de clarification), en connaissant sa composition initiale (sucre, azote), de maîtriser les cinétiques de fermentation (température de régulation, complémentation en azote, ajout d'oxygène) et ainsi de les sécuriser. Il assure aussi la traçabilité des fermentations et offre ainsi à l'œnologue la possibilité d'acquérir de nouvelles connaissances et savoir-faire sur ses propres vinifications et produits. Un autre avantage des outils de pilotage de la fermentation est d'améliorer la gestion des frigories nécessaires à la régulation de température.

Antérieurement, l'acidification était réalisée par méthode chimique, par addition d'acide tartrique. De la même manière, la désacidification pouvait être réalisée par méthode chimique par ajout de carbonate de calcium avec ou sans double sels. Ces 2 types de traitements étaient relativement difficiles à maîtriser et la prédiction du pH final était aléatoire. La démonstration de l'apport des procédés électro-membranaires pour la conduite maîtrisée de l'acidification ou de la désacidification des vins et leur autorisation d'utilisation en tant que nouvelle pratique offre à l'œnologue la possibilité de corriger le pH de ses vins. La précision de ce procédé permet de cibler le pH à atteindre en fonction de sa connaissance du vin traité et de son objectif commercial. Là aussi l'œnologue maîtrise parfaitement son traitement.

Pour les producteurs, l'autorisation de désalcoolisation partielle des vins pour en corriger leur teneur en alcool, a permis à plusieurs entreprises en France de diversifier et développer leurs gammes de vin. Ainsi des vins à 9% (v/v) ou 10% (v/v) ont fait leur apparition et sont commercialisés c'est le cas notamment du vin « So Light » produit par le Domaine Auriol dans l'Aude, et du vin « Plume » par le Domaine de la Colombette dans l'Hérault.

Enfin, au niveau du négoce, l'impact économique de ces inventions innovantes est significatif en termes de compétitivité. En effet, les possibilités de traitement en ligne des vins avec une parfaite maîtrise des produits font qu'il n'est plus nécessaire d'immobiliser des lots de vins en attente de stabilisation en situation de pré-mise en bouteille. A l'extrême, le traitement pourrait se faire en ligne directement depuis la citerne de livraison. Les délais commande-livraison sont alors réduits. De plus, ces traitements en ligne étant fiables, peuvent être tracés et garantis.

3.4 Développement de traitement en prestation de service : Apparition de nouveaux métiers, accessibilité plus grande aux nouvelles technologies à tout producteur.

L'apport des membranes en œnologie a permis le développement d'unités compactes de traitement des vins, et par conséquent la création d'unités mobiles. De ce fait, des entrepreneurs ont fait le choix d'investir dans ces outils afin de proposer du traitement à façon en prestation de service. Des sociétés de prestations de service dédiées aux vins ont ainsi été créées. Le premier traitement proposé en prestation a concerné la stabilisation tartrique des vins. Maintenant sont aussi accessibles en prestation de service, la filtration des vins, y compris par microfiltration tangentielle, la réduction partielle de la teneur en alcool et l'acidification par membranes bipolaires.

Ces sociétés de prestations de service dédiées aux vins, sont implantées dans les grandes régions viticoles françaises. Les prestataires les plus connus de la filière sont les sociétés GEMSTAB, PAETZOLD et YMELIA. Tous n'offrent pas les mêmes types de prestations et pour certains types de traitement, les procédés choisis sont différents. C'est le cas notamment de la stabilisation tartrique (procédés électro-membranaire pour l'un, traitement au froid pour l'autre) ou en encore de la désalcoolisation partielle des vins (couplage de deux procédés à membranes pour l'un, couplage d'un procédé à membrane à de la distillation pour l'autre). La filtration des vins quant à elle passe par la microfiltration tangentielle qui dans le cas de la société GEMSTAB peut aussi être couplée à l'électrodialyse.

Ces nouveaux métiers et nouvelles entreprises participent à la compétitivité de la filière dans son ensemble, car les technologies proposées sont parfaitement adaptées pour l'exportation des vins. Des importateurs de vins (Japon, Chine par exemple) inscrivent maintenant ces nouvelles technologies dans leur cahier des charges de traitement des vins notamment pour la maîtrise de la stabilisation tartrique. Le développement de sociétés de services est révélateur ces évolutions. Un aspect négatif toutefois, de ce nouveau mode de fonctionnement, est que cette évolution induit aussi un changement au niveau des caves en termes de personnel. Les caves tendent par la sous-traitance à perdre leur compétence interne en maîtrise technique des opérations post fermentaires. En faisant appel à des prestataires de services, les caves s'affranchissent d'opérateurs internes sur ces nouvelles technologies membranaires. Le point très positif quant à lui pour ces prestataires est de rendre accessible à tous ces traitements innovants. Ainsi, l'innovation n'est plus réservée aux plus gros sites de production qui peuvent investir, mais elle peut aussi rentrer dans les chais de petite taille de niveau de technicité les plus modestes.

Enfin, cette offre de service permet une souplesse pour répondre et adapter au mieux les produits aux marchés.

3.5 Quid des vins issus de l'agriculture biologique face aux innovations technologiques

En revanche, l'innovation n'est pas bien perçue pour toutes les catégories de vin. Les méthodes physiques dont la plupart sont référencées pour les vins AOP (exception faite pour le moment des résines échangeuses de cations) posent encore la question de leur acceptabilité pour les vins issus de l'agriculture biologique : un vin bio peut-il faire l'objet de ces nouvelles pratiques œnologiques ? La réponse est « oui » aux Etats-Unis pour la principale raison que les procédés électro-membranaires sont des pratiques œnologiques physiques sans utilisation d'intrants. Par contre, dans son dernier règlement de 2012, l'Europe n'a pas accepté, pour les vins issus de l'agriculture biologique, l'utilisation de la Flash-Détente et des procédés électro-membranaires. Toutefois, ce sujet devrait être réexaminé d'ici 2015. Pour les vins issus de l'agriculture biologique, malgré des bilans environnementaux favorables, la question de traitement « naturel » est posée pour les thermo-traitements de vendange (du fait du niveau de température appliqué), ou pour les procédés électro-membranaires. Il en est de même, mais plus logiquement, pour les résines échangeuses d'ions. La question soulevée en Europe concerne un changement éventuel de nature du vin. Dans le domaine du lait, en utilisant l'ultrafiltration et le lactosérum pour élaborer des fractions de lait, cette filière a changé les données industrielles. Dans la filière vinicole, le sujet est tout à fait différent car il n'a jamais été proposé d'utiliser des outils de fractionnement, mais uniquement des outils de correction d'éléments de composition et d'instabilité que l'œnologue doit de toute façon maîtriser.

La réduction de la teneur en alcool des vins non plus, ne fait pas partie des pratiques acceptées pour les vins bio. Elle est considérée comme changeant la nature du vin puisqu'elle extrait une partie de son alcool. Cependant ce traitement physique, ciblant l'extraction la plus sélective possible de l'alcool, impacte peu la composition finale des vins si ce n'est quelques pertes en certains composés d'arômes. Il est à remarquer que naturellement la composition et la concentration en arômes des vins sont très variables. Ainsi, le vin partiellement désalcoolisé est tout à fait semblable d'un point de vue aromatique à des vins classiques non traités. De plus, avec un traitement de désalcoolisation limité à 20% de l'alcool initial et dans la limite d'une teneur finale en alcool de 9%, le vin partiellement désalcoolisé reste bien un vin car il répond à la définition du vin fixée par l'OIV. Il y a quelques dizaines d'années en arrière, ce type de vin à faible degré existait. La solution pour les vins bio serait-elle de revenir à des cépages et des pratiques anciennes ? L'approche privilégiée dans ce cas concernera un changement d'encépagement, cette adaptation est possible mais à moyen terme seulement.

3.6 Les nouveaux intrants du vin seraient-ils source de rupture et d'innovation future dans une approche agroalimentaire et low cost du vin ?

Traditionnellement les pratiques œnologiques autorisaient l'addition d'auxiliaires technologiques qui étaient par la suite éliminés du vin avant la mise en bouteille (Principe des collages), exception faite du SO₂. Cependant, cette règle d'usage permettant de conserver au vin sa composition « naturelle » (composés uniquement issus du raisin), est maintenant de plus en plus bousculée.

Récemment, dans une approche agro-alimentaire, sont apparus divers intrants, exogènes au raisin ou au vin. Le cas le plus emblématique concerne la carboxyméthyl cellulose (CMC ou gomme de cellulose ou E 466) pour la stabilisation tartrique des vins blancs et rosés. Ces produits œnologiques font l'objet de prescription de la part d'un œnologue mais comme ils ne sont pas éliminés du vin *in fine*, ils restent dans ce dernier et intègre sa composition jusqu'à l'étape de consommation. Cette approche agroalimentaire est motivée essentiellement par une réduction des frais d'investissements, des coûts de production, et d'impact sur l'environnement.

Des expérimentations sont en cours dans différents pays européens pour étudier les propriétés et aptitudes de nouveaux intrants afin d'assurer la stabilisation des vins. Ces études en fonction de leurs résultats pourraient conduire à de nouvelles méthodes de traitements chimiques, entraînant éventuellement à de nouvelles modifications de la composition des vins.

L'absence d'étiquetage des composés ajoutés au vin rend possible cette nouvelle approche « low cost ». Qu'en sera-t-il demain si plus de transparence est exigée par le consommateur ou si l'étiquetage des produits utilisés dans l'élaboration du vin devient obligatoire ?

4. Conclusion : une Œnologie de précision pour un œnologue plus directif.

Des potentialités et intérêts démontrés, de certains procédés, par des travaux de recherche en partenariat public-privé, naissent des inventions technologiques. Ces dernières peuvent se transformer en innovations dès lors que des démarches nécessaires pour les faire admettre auprès de l'OIV et les autoriser en tant que pratiques œnologiques dans le règlement européen, sont argumentées et conduites avec un résultat positif. L'autorisation obtenue, la transition du stade d'invention à celui d'innovation peut s'opérer. Cette transition dépendra alors :

- d'une part, des capacités et de la volonté des partenaires privés à porter cette innovation
- et d'autre part de l'intérêt des producteurs, de leur politique d'investissement ainsi que leur stratégie d'entreprise, aussi bien au niveau qualitatif qu'au plan commercial.
- Dans certains cas, l'adoption de l'innovation est « imposée » par les exigences des acheteurs ou consommateurs.

Les innovations technologiques sont bien souvent le résultat de recherches conduites dans l'objectif de maîtriser et piloter au mieux les différentes opérations intervenant tout au long de l'itinéraire de production du vin. *In fine*, l'objectif est de développer une œnologie de précision, assurant la maîtrise du traitement avec un objectif ciblé et en pilotant le traitement pour atteindre cette cible. Un certain nombre d'opérations sont maintenant ainsi maîtrisées et s'inscrivent dans ce concept d'œnologie de précision.

Les travaux de recherche se poursuivent pour que demain, l'œnologie de précision s'applique tout au long de l'itinéraire d'élaboration du vin. Ce développement sera fonction des nouveaux acquis de connaissances mais aussi de la définition de nouvelles méthodes de travail, intégrant d'une part, à côté d'un levurage et d'un enzymage toujours plus optimisés, la maîtrise des phénomènes d'oxydation, le contrôle de l'ensemble des déterminants de la qualité des vins et de leur expression : précurseurs de composés d'arômes, polyphénols, composés produits en cours de vinification (arômes fermentaires, association complexe de polyphénols, couleur, astringence), composés produits en cours d'élevage. Enfin, ce concept d'œnologie de précision doit aussi se faire en intégrant des démarches d'éco-conception et de durabilité. Les nouvelles innovations technologiques devront répondre à ces critères dans une démarche d'ingénierie reverse.

L'œnologue en 2013 dispose de meilleures données analytiques, d'outils technologiques de diagnostic et d'intervention plus sélectifs et accessibles à toute échelle. Dans cette démarche d'ingénierie reverse son rôle et ses possibilités d'interventions se renforcent en dialogue avec le référent marketing de la société.

5. Bibliographie

- [1] **AGUERA E., ATHES-DUTOIR V., BES M., CAILLE S., COTTEREAU P., ESCUDIER J.L., MIKOLAJCZAK M., ROY A., SABLAYROLLES J.M., SAMSON A., SOUCHON I., VIDAL J.C.** 2010 Reduction of wine alcohol content :A comparative study of different technologies. Bulletin OIV N° 83.
- [2] **ARNAUD C., NIERO R., SAMSON A., CAILLE S., DUCASSE M.H., BES M., SALMON J.M.** 2012. Le Fouloir dynamique Pellenc : Un nouvel outil innovant pour l'extraction de la vendange. RFOE. N°255.
- [3] **BES M.** lien vidéo <http://www1.montpellier.inra.fr/pechrouge/index.php/fr/publications?id=25> 3ièmes Entretiens Vigne-Vin-Languedoc-Roussillon. Clarification des moûts après chauffage de la vendange.
- [4] **BORIES A., SIRE Y., GOULESQUE S., MOUTOUNET M., BONNEAUD D., LUTTIN F.**, 2011, Environmental impacts of tartaric stabilisation processes for wine using electrodialysis and cold treatments. South Afric. J.Enol.Vitic., Vol 32, N°2, 174-82.
- [5] **COTTEREAU P.** 2007. Vins à teneur réduite en alcool : présentation des différentes techniques. Institut Français de la Vigne et du Vin. www.vignevin.com/fileadmin/users/ifv/publications/Atelecharger/VinsDesalcoolises.pdf
- [6] **DESSEIGNE J.M., BES M. PIC L.** Acte entretien 2012 vigne et vin en LR. http://www.vignevin.com/fileadmin/users/ifv/publications/A_telecharger/EVVRM2012_Partie2.pdf
- [7] **ESCUDIER J.L., BOUISSOU D., CAILLE S., SAMSON A., BES M., MOUTOUNET M.** 2011, 16, Membraned-based options to regulate pH and acidity. Internationales Oenologisches Symposium. Bozen, Italie.
- [8] **ESCUDIER J.L., BES M., SAMSON A., MIKOLAJCZAK M., MOUTOUNET M., SALMON J.M.**, 2012. OEnologie de précision, exemples à partir d'actions de recherches menées à l'Inra Pech Rouge. Rev des œnologues. N° 142 .
- [9] **ESCUDIER J.L., CAUCHY B., LUTIN F., MOUTOUNET M.** 2012. Acidification et stabilisation tartrique par méthodes soustractives. RF OE N° 254.
- [10] **ESCUDIER J.L., BOUISSOU D., CAILLE S., SAMSON A., BES M., MOUTOUNET M.**, 2011, Membrane-Based options to regulate pH and acidity. Proceedings of the 16th international enology symposium, Bolzano.
- [11] **ESCUDIER J.L.** 2009 site <http://www1.montpellier.inra.fr/pechrouge/images/vdqa.pdf#page=1>, résumé du programme ANR VDQA
- [12] **ESCUDIER J.L., SAMSON A., CAILLE S., AGUERA E., BES M., DANGLEVILLE G., DE VIEGLER L., SALMON J.M.**, 2011, Le décanteur centrifuge Alfa Laval. Apport d'un nouvel outil pour le prétraitement de la vendange thermo traitée avant fermentation. Rev.Oenol., Vol 138,18-20.
- [13] **GAVACH C.**, 1998. Les séparations par membranes dans les procédés de l'industrie alimentaire. Electro dialyse P86/96. Daufin G. Coordonnateur. Tec et Doc Lavoisier, Paris.
- [14] **MEILLON S., URBANO C., SCHLICH P.** Juin 2010. Goût et acceptabilité des vins à teneur réduite en alcool. Rev. des œnologues, N° 136.
- [15] **MIKOLAJCZAK M., VEYRET M., WILLIAMS P., DOCO T., ESCUDIER J.L.** Nov 2011. Jus de raisin: Comment extraire le maximum du potentiel de la baie de raisin. RFOE.
- [16] **MONTAIGNE E., Salmon C., COTTEREAU P., MANSEUR G.** 2012. Coûts de production et trajectoires de désalcoolisation des vins. Ecole d'été, les nouvelles technologies de désalcoolisation des vins. Montpellier Supagro.
- [17] **MORAKUL S., MOURET J.R., NICOLLE P., AGUERA E., SABLAYROLLES J.M., ATHES V.** 2013 A dynamic analysis of higher alcohol and ester release during winemaking fermentations. Food Bioprocess Technol.VOL 6, Number 3.

- [18] **MOUTOUNET M., VERNHET A.** 1998. Microfiltration tangentielle. P 958-987. Œnologie, fondements scientifiques et technologiques. Tec et Doc Lavoisier.
- [19] **MOUTOUNET M., SAINT PIERRE B., BATTLE J.L., ESCUDIER J.L.**, 1999 - Stabilisation tartrique. Détermination du degré d'instabilité des vins. Mesure de l'efficacité des inhibiteurs de cristallisation. Actualités Œnologiques 1999. VI th International Œnologie Symposium. Bordeaux 10-12 juin 1999,531-534.
- [20] **MOUTOUNET M., BOUISOU D., ESCUDIER J.L.**, 2010 – Détermination du degré d'instabilité tartrique (DIT) principe et application. Revue Française d'Œnologie
- [21] **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.
- [22] **ROZOY E., BAZINET L., GAGNE F., BOUISOU D., ESCUDIER J.L., LE GRATIET Y., LUTIN F ., D'HAUTEVILLEJ., BES M.** 2013, Développement d'un procédé de désacidification des vins par électrodialyse à membrane bipolaire. Etude de faisabilité à échelle de laboratoire. Bul OIV (à paraître), poster correspondant lien : <http://www1.montpellier.inra.fr/pechrouge/images/electrodialyse20130324.pdf>
- [23] **SABLAYROLLES JM.**, 2009. Control of alcoholic fermentation in winemaking: Current situation and prospect, Food Research International, 42 418-424.
- [24] **SALMON J.M.**, 2012. Outils technologiques de réduction des intrants en œnologie. PAV, 129,N°18
- [25] **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 Panghorn Sensory Science Symposium-Minneapolis USA.
- [26] **VIDAL J.C., BOULET J.C., MOUTOUNET M.** 2003. Les apports d'oxygène au cours du traitement des vins. Bilan des observations sur site. 2ème partie. N°201 RFOE
- [27] **VIDAL J.C., VIDAL VILA M., WAIDELICH G.**, 2011, Exact management of dissolved gases of wines by membrane contactor, Bull. OIV, Vol 84,N°962_963-964, 179-187.

Règlementation :

R1 : Le procédé électro-membranaire de stabilisation tartrique a été admis comme pratique œnologique par l'OIV en janvier 1993 (fiche oeno 1/93), puis autorisé par l'Europe (JO L/220 du 15/8/2002), y compris sur vin AOP.

R2 : Le procédé électro-membranaire d'acidification des moûts et vin a été admis comme pratique œnologique par l'OIV en juin 2010 (fiches Oeno 360 et 361/2010), puis autorisé par l'Europe le 21 janvier 2011 (règlement UE N°53/2011).

R3 : Le procédé électro-membranaire de désacidification des moûts et vin a été admis comme pratique œnologique par l'OIV en juin 2012, puis autorisé par l'Europe le 19 février 2013 (règlement UE N° 144/ 2013 du 19/2/2013).

R4 : Le Procédé d'acidification par résines : : règlement exécutif UE N° 144/2013 du 19/2/2013

R5 : Correction en alcool : règlement exécutif UE N° 144/2013 du 19/2/2013