

Incidence de cinq techniques de macération sur les caractéristiques analytiques, aromatiques et sensorielles des vins rouges

Olivier GEFFROY¹, Ricardo LOPEZ³, Eric SERRANO¹, Thierry DUFOURCQ², Elisa GRACIA-MORENO³, Juan CACHO³, Vicente FERREIRA³

¹ Institut Français de la Vigne et du Vin - Pôle Sud-Ouest, V'innopôle, BP22, 81 310 Lisle Sur Tarn,- France

² Institut Français de la Vigne et du Vin - Pôle Sud-Ouest, Domaine de Mons, 32100 Caussens,- France

³ Laboratorio de Análisis del Aroma y Enología, Facultad de Ciencias, Universidad Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza – Espagne
Email: olivier.geffroy@vignevin.com

Résumé : En 2009 et en 2010, l'IFV Sud-Ouest et le LAEE de l'Université de Saragosse ont étudié sur Grenache N, Carignan N et Fer N, 5 techniques de macération pour leurs aptitudes à développer la composante fruitée des vins rouges. L'incidence de ces techniques sur les caractéristiques analytiques, aromatiques et sensorielles a été évaluée par des paramètres œnologiques classiques, l'analyse de 78 composés volatiles et à travers la dégustation. Parmi les techniques testées, la macération carbonique et la macération préfermentaire à chaud suivie d'une vinification en phase liquide (MPC), possèdent le plus grand impact sur le profil sensoriel des vins. Un chauffage préfermentaire de la vendange pendant 2 heures à 70°C a provoqué une réduction significative de la teneur des vins en plusieurs composés aromatiques d'origine variétale (monoterpènes, C13-norisoprénols et certains phénols). Cette diminution étant par ailleurs bien corrélée à augmentation en *a*-terpinéol, en gâicol et en 2,6-diméthoxyphénol, ces observations suggèrent une dégradation de certains composés ou de leurs précurseurs lors du chauffage. Les vins de la modalité MPC présentent une acidité volatile plus élevée, des teneurs supérieures en esters fermentaires, en acides gras associées à des concentrations inférieures en alcools supérieurs, en méthionol et en sulfure d'hydrogène. Ces observations peuvent être reliées aux conditions de fermentation mais également à l'extraction supérieure d'acides aminés contenus dans la pellicule sous l'effet du chauffage et du pressurage à chaud. Les vins issus de la modalité fermentée en phase solide après chauffage, possèdent un profil sensoriel plus proche de la vinification témoin. Les vins élaborés par macération carbonique sont caractérisés par des teneurs en cinnamate d'éthyle, en dihydrocinnamate d'éthyle et en 3-mercaptohexanol significativement supérieures. Dans nos conditions expérimentales, la macération courte et la macération préfermentaire ont eu un impact très limité sur les caractéristiques et le profil sensoriel des vins.

Mots-Clés : Macération préfermentaire à chaud, macération préfermentaire à froid, macération courte, macération carbonique, composition aromatique

Introduction

Le marché mondial du vin est demandeur de vins rouges souples et fruités. Dans ce contexte, certaines techniques œnologiques comme la macération préfermentaire à chaud (MPC) ou la macération carbonique connaissent aujourd'hui un regain d'intérêt afin de produire des vins adaptés aux attentes des consommateurs internationaux. Les études sur ces techniques, initiées pour certaines il y a plus de 50 ans, concernent plus l'optimisation du potentiel polyphénolique des vins que les modifications aromatiques induites. La macération carbonique consiste à fermenter partiellement, jusqu'à environ 2% d'éthanol acquis et à une température de 25 à 32°C, la vendange entière sous une atmosphère riche en CO₂. A l'issue d'une phase anaérobie d'une à deux semaines, les raisins sont décués pour être pressés. Les jus de presse et de goutte, qui peuvent être assemblés ou non, sont ensuite fermentés à une température de 18 à 20°C afin de préserver les arômes acquis. Au niveau aromatique, des travaux de recherche entrepris il y a une trentaine d'années (Ducruet 1984) font mention de concentrations supérieures en décanoate d'éthyle, en terpénols, en eugénol, en vanillates, en éthyl et vinyl-gâicol, en éthyl et vinyl-phénols, en benzaldéhyde et en cinnamate d'éthyle sur les vins issus de cette technique. Le chauffage préfermentaire de la vendange quant à lui, consiste à chauffer des raisins entre 70 et 75°C pendant une période qui peut varier de 30 minutes à 24 heures. Lorsque la durée de chauffage est courte et n'excède pas typiquement 1 heure, la technique est désignée sous le nom de « thermovinification ». Si le chauffage est maintenu au-delà, on parle alors de Macération Préfermentaire à Chaud (MPC). Ce chauffage réalisé en phase aqueuse permet l'extraction des composés phénoliques du raisin, principalement les anthocyanes mais également de polysaccharides qui confèrent sucrosité et douceur aux vins (Doco et al. 2007). Cette technique est fréquemment suivie d'un pressurage, d'une clarification des moûts et d'une fermentation en phase liquide à basse température. Plusieurs études (Girard et al. 1997, Cottareau and Desseigne 2007) ont souligné les niveaux importants d'esters particulièrement d'acétate d'isoamyle retrouvés dans les vins. Il a également été démontré que la technique permettait d'éliminer des quantités importantes de 3-isobutyl-2-méthoxy-pyrazine

(IBMP), un composé responsable de caractère poivron vert dans les vins (Roujou de Boubée 2000). Une variante de la technique parfois mise en œuvre, consiste à fermenter la vendange en phase solide après chauffage. Des niveaux de composés phénoliques de 25 à 45% supérieurs dans les vins, ont été observés (Cottareau and Desseigne 2007). Une autre technique, parfois utilisée par les vinficateurs implique une macération courte après quelques jours de cuvaision. Le moût achève ensuite sa fermentation en phase liquide et à basse température. En fonction des cépages, de la maturité des raisins et de l'extractibilité des composés phénoliques, la durée de cuvaision peut varier entre 3 et 5 jours. La macération préfermentaire à froid (MPF) est également fréquemment utilisée dans les chais afin de développer les notes fruitées des vins rouges. Au cours de ce traitement préfermentaire, la vendange est refroidie pendant plusieurs jours à une température de 5 à 15°C. La MPF a fait l'objet de nombreuses études sur des cépages variés et certains auteurs ont reporté une augmentation des notes de cassis et de la complexité aromatique globale des vins de Syrah (Reynolds et al. 2001). Selon Cuneat et al. (1996), des levures du genre *Hanseniaspora* pourraient contribuer à la révélation d'arômes variétaux au cours de cette phase de macération préfermentaire à froid. Malgré les progrès réalisés ces 10 dernières années dans les techniques de dosages des composés aromatiques, très peu de nouvelles références sont disponibles sur le sujet. L'étude menée par l'IFV Sud-Ouest et le LAEE de l'Université de Saragosse dans le cadre du projet européen Vinaromas a permis d'évaluer finement l'impact de ces techniques par l'analyse de paramètres œnologiques classiques et de 78 composés aromatiques volatiles et à travers la dégustation. De nouvelles acquisitions scientifiques permettant de mieux comprendre l'impact aromatique des techniques testées, ont ainsi pu être mises en évidence.

Matériels et méthodes

Modalités mises en œuvre : En 2009 et en 2010, 5 modalités de macération ont été mises en œuvre dans le chai expérimental de l'IFV Sud-Ouest sur des lots de vendanges homogènes de Carignan,

Grenache et de Fer Servadou, récoltés à deux niveaux de maturité différents :

Témoin (TEM) : après éraflage, foulage, sulfitage à 4g/hl et levurage à 20g/hl, la macération est conduite à 25°C pendant 8 jours. Un unique pigeage journalier est réalisé jusqu'à la masse volumique de 1000 g/l.

Macération carbonique (CARB) : 1/4 de la récolte est éraflé, foulé, disposé dans le fond d'une cuve fermant hermétiquement et levuré à 20g/hl afin de simuler l'écrasement naturel se produisant dans les conditions d'un chai normal de vinification. Compte tenu du faible niveau d'acide malique sur les variétés espagnoles et afin de prévenir les risques de piqûres lactiques (Beelman and McArdle, 1974), le fond de cuve est systématiquement complété à l'aide de lysozyme (25 g/hl). Des apports de CO₂ exogène sont réalisés pendant le remplissage du reste de la cuve et maintenus pendant 36 heures. La cuve est ensuite placée dans une chambre à 30°C, pressée avec assemblage des jus de presse et de goutte après 8 jours d'anaérobiose et fermentée à 18°C.

Macération Préfermentaire à Chaud suivie d'une vinification en phase liquide (MPC) : cette modalité consiste à chauffer la vendange pendant 2h effectives à 70°C, à la presser et à clarifier le moût à 150 NTU après un débouillage statique au froid à l'aide d'enzymes de clarification. Le moût est ensuite mis à fermenter en phase liquide à 18°C.

Macération Préfermentaire à Chaud suivie d'une vinification en phase solide (MPCSO) : après chauffage à 70°C pendant 2 heures, la vendange est fermentée en phase solide comme la modalité témoin (TEM).

Macération Préfermentaire à Froid (MPF) : la vendange est refroidie à 4°C et maintenue à cette température pendant 72 heures. La cuve est ensuite réchauffée et un levurage est réalisé lorsque la température s'élève au dessus de 15°C. La vinification est ensuite conduite selon le procédé standard (TEM).

Macération courte (COURT) : la vendange est fermentée pendant 5 jours à 25°C. Le décuillage intervient à une masse volumique du moût d'environ 1010 g/l avec achèvement de la fermentation alcoolique en phase liquide à 18°C.

Suivis analytiques, analyse sensorielle et traitement statistique : 8 paramètres œnologiques classiques ont été suivis par l'IFV Sud-Ouest dans les vins en bouteille dont le Titre Alcoométrique Volumique (TAV), l'acidité totale, l'acide tartrique, le pH, l'acidité volatile, le potassium, IPT et anthocyanes. 78 composés aromatiques différents appartenant à 13 familles chimiques (esters éthyliques, acétates, acides, alcools, composés carbonylés, terpénols, C13-norisoprénolides, phénols, dérivés de la vanilline, mercaptans, cinnamates, thiols variétaux et pyrazines) ont été dosés dans les vins par l'équipe du LAAE. L'analyse sensorielle a été réalisée par le jury expert de l'IFV Sud-Ouest composé de 8 dégustateurs entraînés régulièrement. Les vins sont notés sur une échelle discontinue de 0 à 5 au moyen de 15 descripteurs sensoriels. L'ensemble des données recueillies est analysé statistiquement grâce à une ANOVA à 4 facteurs (macération x millésime, date de récolte x cépage) avec interactions à l'aide du logiciel Xlstat suivie d'un test de comparaison de moyenne de Fisher au seuil de 5%.

Résultats / Discussion

Impact des techniques sur les paramètres œnologiques classiques

L'impact des techniques testées sur les paramètres œnologiques classiques est résumé dans le tableau I. L'impact le plus important est observé sur les modalités CARB et MPC alors que les différences par rapport à la vinification témoin induites par MPF et MACOU restent faibles. Le traitement MPCSO possède un positionnement intermédiaire. Les vins élaborés par macération préfermentaire à chaud (MPC) présentent en bouteille un niveau supérieur d'acidité volatile, de potas-

sium et d'acide tartrique. Cette observation traduit une forte extraction d'acides aminés, de potassium et d'acide tartrique contenus dans la pellicule sous l'effet du chauffage. Ce phénomène déjà décrit dans la littérature en ce qui concerne les acides aminés (Poux, 1974) conduit naturellement à une formation supérieure d'acidité volatile et d'acétate d'éthyle par la levure (Bell et Henscke, 2005). Des essais complémentaires réalisés en 2011 avec dosages d'azote réalisés sur moûts avant et après chauffage à 70°C de 2 heures, ont montré un gain en acides aminés de 199% sur Fer Servadou (figure 1). L'azote ammoniacal n'est que très faiblement impacté. L'excès de potassium n'est pas complètement neutralisé par l'excès d'acide tartrique et conduit à une baisse de l'acidité totale et à une augmentation du pH. Ces phénomènes étant moins observés sur la modalité MPCSO, l'extraction apparaît supérieure lorsque les moûts sont pressés à chaud. Pour un niveau d'IPT identique au témoin, les vins de MPC présentent une teneur en anthocyanes inférieure, ce qui laisse présager une modification dans la structure des anthocyanes sous l'effet du chauffage par combinaison avec les tanins (Singleton et Trousdale 1992) ou bien par dégradation. Phénomène combiné de la fermentation à basse température et de l'amélioration des rendements en alcool sous l'effet de l'azote, la teneur des vins de MPC en alcool est supérieure à ceux de la vinification témoin. Comme déjà démontré précédemment (Cottureau et Desseigne 2007), les vins élaborés selon le traitement MPCSO possèdent un niveau d'IPT supérieur aux autres vins. Les vins de macération carbonique élaborés dans le cadre de notre étude présentent des niveaux inférieurs en IPT, en anthocyanes, en acidité volatile et en alcool. Le bon contrôle de l'acidité volatile est la conséquence de l'utilisation de lysozyme. Les quantités d'alcool moindres illustrent un phénomène d'inversion du cycle de Krebs au cours du phénomène anaérobie comme déjà décrit précédemment (Flanzly 1987). L'impact des modalités MPF et COURT reste limité aux teneurs en potassium. De manière surprenante les vins issus de la modalité COURT, décuillés à une masse volumique de 1010 g/l, présentent le même niveau d'IPT que le témoin. Ceci peut s'expliquer par le fait que sur la modalité témoin, aucun acte d'extraction n'a été réalisé après une densité de 1000 g/l.

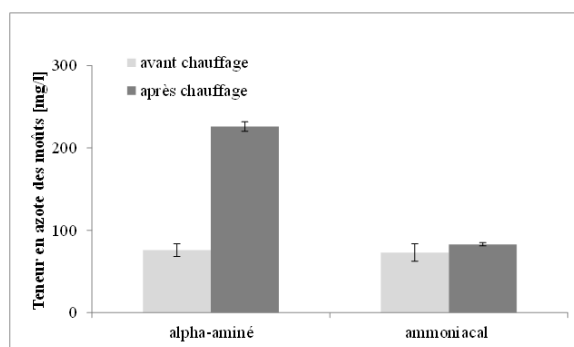


Figure 1 : Teneur en azote des moûts de Fer Servadou avant et après chauffage à 70°C de 2 heures ; (n=4) – millésime 2011. Intervalle de confiance au seuil de 5%

Tableau I : résumé des impacts des techniques de macération sur les paramètres œnologiques classiques par rapport à la vinification témoin des vins en bouteille. Millésimes 2009-2010. ^a Les chiffres mentionnés représentent les écarts moyens exprimés dans l'unité du paramètre considéré lorsque des différences significatives sont observées entre les modalités au seuil de 5%.

Modalité / Paramètres	MPC	MPCSO	CARB	COURT	MPF
TAV (% vol.)	+0.66 ^a	=	-0.64	=	=
Acidité totale (g/l H ₂ SO ₄)	-0.3	=	=	=	=
pH	+0.06	=	=	=	=
Acide tartrique (g/l)	+0.59	=	=	=	=
Acidité volatile (g/l acide acétique)	+0.15	+0.10	-0.11	=	=
Potassium (g/l)	+0.14	+0.05	+0.04	+0.05	+0.07
IPT	=	+16	-15	=	=
Anthocyanes (mg/l)	-95	=	-240	=	=

Impact des techniques sur la composition aromatique des vins

L'impact des techniques testées sur la composition aromatique des vins est présenté dans le tableau II. Compte tenu du nombre considérable de variables mesurées (78 au total), est présentée dans cet article une sélection de composés illustratifs ou possédant un rôle prépondérant sur l'arôme des vins. Comme pour les paramètres œnologiques classiques, les modalités CARB, MPC et dans une moindre mesure MPCSO, induisent de profondes modifications dans les caractéristiques aromatiques des vins, alors que l'impact des modalités COURT et MPF demeure faible. Ces observations confirment des résultats récents observés sur la macération à froid (Gardner et al. 2011). La production d'esters par la levure étant limitée à la phase stationnaire (Mouret et al. 2010), logiquement leur concentration dans les vins de macération courte (COURT), où le décuage intervient pendant la phase de déclin, n'est pas améliorée.

Conséquence de la fermentation du moût en phase liquide à une température relativement basse après pressurage (Ferreira et al. 1996), des niveaux inférieurs en alcools de fusel sont mis en évidence dans les vins de macération carbonique. En complément d'observations déjà réalisées sur la technique, trois nouvelles acquisitions méritent d'être signalées : un gain significatif en 3-mercaptohexanol (3MH), en b-damascénone et en o-crésol dont la contribution sensorielle est négligeable. Le niveau supérieur en 3MH pourrait être lié à l'augmentation de la teneur des vins en acides aminés (Flanzly et al. 1989), qui en limitant le phénomène de répression catabolique de l'azote (Subileau et al. 2008) pourrait avoir favorisé l'hydrolyse des précurseurs. La différence de température de fermentation entre la

macération carbonique après pressurage (18°C) et la vinification standard fermentée à 25°C pourrait également jouer un rôle.

Le chauffage de la vendange modifie sensiblement la composition aromatique des vins en bouteille. Sur les modalités MPC et MPCSO, un effet dépréciatif est mis en évidence sur plusieurs composés aromatiques comme la b-damascénone, le citronellol, l'o-crésol, le vanillate d'éthyle et le cinnamate d'éthyle. Pour les composés où un précurseur glycosidique a été reporté, cette diminution peut s'expliquer par la destruction thermique de l'activité b-glucosidase par dénaturation. Les concentrations supérieures en a-terpinéol, produit de dégradation connu du citronellol et du géraniol (Maicas and Mateo 2005) et en gaïacol soutiennent l'hypothèse d'une dégradation des terpénols et des composés phénoliques sous l'effet de la chaleur. Le seuil de perception de l'a-terpinéol étant supérieur à celui du citronellol et du géraniol, la perception globale des terpénols s'en trouve pénalisée. La diminution de la concentration des vins en b-damascénone mérite quelques commentaires, puisque des études réalisées sur des vins de Merlot et sur Sochu, un alcool de pomme de terre japonais, ont mis en évidence qu'un chauffage modéré ou à travers la distillation favorisait la production de b-damascénone (Kotseridis et al. 1999, Yoshizaki et al. 2011). Dans le cas des traitements MPC et MPCSO, le chauffage est réalisé avant le début de la fermentation alcoolique sans présence d'éthanol dans le milieu. Or des travaux résumés dans un article de revue (Mendes-Pinot 2009) montrent que la formation de la b-damascénone par dégradation thermique des caroténoïdes, nécessite la présence d'un solvant comme l'éthanol ou le benzène. Le chauffage de la vendange n'a aucun effet sur la concentration des vins en 3-mercaptohexanol (3MH) et son acétate, en 4-mercapto-4-méthyl-2-pentanone (4MMP) même si un gain aurait pu être attendu compte tenu de la modification en azote aminé induite par le chauffage (Subileau et al. 2008). Ceci suggère une possible dégradation des précurseurs des thiols variétaux sous l'effet de la chaleur.

Tableau II : résumé des impacts des techniques de macération sur une sélection de composés aromatiques analysés dans les vins en bouteille. Millésimes 2009-2010. ^aLe niveau dans les vins se réfère aux concentrations retrouvées et à leur positionnement par rapport au seuil de perception de la molécule. « = » autour du seuil de perception ; « > » 1 à 10 fois le seuil ; « >> » supérieur à 10 fois le seuil ; « < » de 0.1 à 1 fois le seuil ; « << » < 0.1 fois le seuil

Modalité / Composé aromatique	Descripteur	Niveaux dans les vins ^a	MPC	MPCSO	CARB	COURT	MPF
3-mercaptohexanol	pamplemousse	>	=	=	+117% ^b	=	=
2-furfurylthiol	café	>	=	+84%	=	=	=
Acide octanoïque	beurre	>>	+264%	=	=	=	=
Hexanoate d'éthyle	fruité	>>	+273%	=	=	=	+60%
Acétate d'éthyle	verniss	>>	+58%	+29%	+40%	+29%	+42%
Isobutanol	fusel	=	-42%	=	-46%	=	=
Citronellol	floral, rose	≤	-46%	-39%	+139%	=	=
α-terpinéol	floral, rose	<<	+78%	+109%	=	=	=
β-damascénone	exhausteur du fruité, prune	>	-19%	-22%	+21%	+19%	=
o-crésol	pharmaceutique	<<	-60%	-49%	+23%	+22%	+24%
Gaïacol	fumé	<	+210%	+225%	=	=	=
Eugénol	clou de girofle	=	=	=	+192%	=	=
Cinnamate d'éthyle	floral	≥	=	=	+970%	=	=
Vanillate d'éthyle	vanille	<	-64%	-62%	=	=	=

Tableau III : descripteurs sensoriels impactés de manière significative au seuil de 5% par les techniques de macération. Millésimes 2009-2010. ^a Les chiffres mentionnés représentent les écarts moyens significatifs de note sur cinq observés.

Modalité / descripteurs	MPC	MPCSO	CARB	COURT	MPF
Intensité aromatique (nez)	+0.32 ^a	=	+0.53	=	=
Fermentaire	+1.61	+0.33	+0.60	=	=
Végétal	-0.24	=	=	=	=
Lacté	+0.56	=	=	=	=
Gras	+0.38	=	=	=	=
Sucrosité	+0.52	=	=	=	=
Astringence	=	+0.21	-0.82	=	=
Intensité aromatique (bouche)	+0.41	=	=	=	=

La modalité PHTL possède une composition aromatique singulière, imputable au fait que la fermentation a été réalisée en phase liquide à relativement basse température et sur un moût clarifié riche en azote assimilable. Les vins possèdent les concentrations les plus élevées en esters, en acétates et en acides gras (Moreno et al. 1988) et les teneurs les plus faibles en alcool de fusel. Un gain significatif en 2-furfurylthiol, responsable de notes de café intenses, est observé sur la modalité MPCSO.

Impact des techniques sur le profil sensoriel des vins

Les techniques de macération testées impactent de manière significative 8 des 15 descripteurs sensoriels (Tableau III). A la dégustation, les vins notés les plus aromatiques au nez sont ceux des modalités MPC et CARB en lien avec les niveaux élevés de cinnamate d'éthyle et d'esters retrouvés. Les vins MPC se caractérisent par de faibles arômes végétaux, des notes fermentaires et lactées soutenues. Le côté "yaourt", typique des vins élaborés par thermotraitement, est la conséquence des teneurs élevées en acides gras (butyrique, hexanoïque, octanoïque et décanoïque) mis en évidence précédemment. En bouche, les vins sont jugés plus gras et avec plus de sucrosité que les vins témoin. Cette perception de douceur est la conséquence d'une importante extraction de polysaccharides sous l'action de la chaleur (Doco et al. 2007). En accord avec les valeurs analytiques d'IPT mesurées, les vins de macération carbonique sont notés moins astringents, ceux de MPCSO plus tanniques. Les vins des modalités COURT et MPF possèdent un profil aromatique proche de ceux des vinifications témoin (TEM).

L'observation plus fine des données sensorielles par cépage, montre que la macération préfermentaire à froid réalisée sur cépage Grenache, au-delà de

toute considération analytique, peut s'avérer particulièrement intéressante afin de renforcer les notes épicées caractéristiques des vins de cépage. Sur les vins de Fer Servadou, les cinq techniques de macération permettent d'atténuer le caractère végétal des vins en comparaison à la vinification témoin. La macération carbonique réussit très bien aux vins de Carignan dont le profil aromatique s'avère particulièrement complexe.

Conclusions

Les essais réalisés en 2009 et 2010 ont permis de caractériser finement les vins élaborés selon cinq techniques de macération. La macération carbonique et la macération préfermentaire à chaud suivie d'une vinification en phase liquide, possèdent l'impact le plus fort sur le profil sensoriel des vins, alors que la macération courte et préfermentaire à froid ont un effet limité. Des phénomènes de dégradation ont pu être observés lors du traitement préfermentaire à 70°C de la vendange. Les techniques de thermotraitement étant souvent mises en œuvre aujourd'hui sur des raisins de qualité sanitaire irréprochable exempts de *Botrytis cinerea* et d'activité laccase, une température moindre de chauffage de l'ordre de 50°C mérite aujourd'hui d'être retestée au vu des résultats obtenus. Ce nouveau champ d'exploration pourrait permettre de varier la palette aromatique des vins issus de thermotraitement en favorisant certains arômes variétaux comme les thiols par exemple.

Références bibliographiques

- Beelman, R.B. and Mcardle, F.J. (1974) Influence of carbonic maceration on acid reduction and quality of a Pennsylvania dry red table wine. *American Journal of Enology and Viticulture* 25, 219-221.
- Bell, S.-J. and Henschke, P.A. (2005) Implications of nitrogen nutrition for grapes, fermentation and wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 11, 242-295.
- Cottereau, P. and Desseigne, J.M. (2007) Chauffage de la vendange et arômes fruités. Actes des entretiens vitivinicoles Rhône-Méditerranée, Narbonne pp. 20-22.
- Cuneat, P., F. Lorenzini, C. Bregy, and E. Zufferey. 1996. La macération préfermentaire à froid du Pinot Noir: aspects technologiques et microbiologiques. *Rev. Suisse Vitic. Arbo. Hort.* 4:259-265.
- Doco, T., Williams, P. and Cheynier, V. (2007) Effect of flash release and pectinolytic enzyme treatments on wine polysaccharide composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55, 6643-6649.
- Ducruet, V. (1984) Comparison of the headspace volatiles of carbonic maceration and traditional wine. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie Journal* 17, 217-221.
- Ferreira, V., Fernandez, P. and Cacho, J. (1996) A study of factors affecting wine volatile composition and its application in discriminant analysis. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie Journal* 29, 251-259.
- Flanzy, M., Benard, P. and Flanzy, C. (1987) La vinification par macération carbonique (Quae: Versailles).
- Gardner, D.M., Zoecklein, B.W. and Mallikarjunan, K. (2011) Electronic nose analysis of Carbernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grape and wine volatile. Differences during cold soak and postfermentation. *American Journal of Enology and Viticulture* 62, 81-90.
- Girard, B., Kopt, T.G. and Reynolds, A.G. (1997) Influence of vinification treatments on aroma constituents and sensory descriptors of Pinot noir wines. *American Journal of Enology and Viticulture* 48, 198-206.
- Kotseridis, Y., Baumes, R.L. and Skouroumounis, G.K. (1999) Quantitative determination of free and hydrolytically liberated -damascenone in red grapes and wines using a stable isotope dilution assay. *Journal of Chromatography A* 849, 245-254.
- Maicas, S. and Mateo, J.J. (2005) Hydrolysis of terpenyl glycosides in grape juice and other fruit juices: a review. *Journal of Applied Microbiology and Biotechnology* 67, 322-335.
- Mendes-Pinot, M.M. 2009. Carotenoid breakdown products the norisoprenoids in wine aroma. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 483, 236-245.
- Mouret, J.C., Nicolle, P., Angenieux, M., Aguera, E., Perez, M. and Sablayrolles, J.M. (2010) On line measurement of 'quality markers' during winemaking fermentation. *Congrès International Intervitis Interfructa*. Stuttgart, Allemagne.
- Moreno, J., Median, M. and Garcia, M.D. (1988) Optimization of the fermentation conditions of musts from Pedro Ximénez grapes grown in Southern Spain. Production of higher alcohols and esters. *South African Journal of Enology and Viticulture* 9, 16-20.

Poux, C. (1974) Chauffage de la vendange et composés azotés. *Industries Alimentaires et Agricoles* 91, 335-340.

Reynolds, A., M. Cliff, B. Girard, and T. Kopp. 2001. Influence of fermentation temperature on composition and sensory properties of Semillon and Shiraz wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 52:235-240.

Roujou de Boubée, D. (2000) Recherche sur la 2-méthoxy-3-isobutylpyrazine dans les raisins et les vins. Approches analytique, biologique et agronomique. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 2. 170 pp.

Singleton, V.L. and Trousdale, E.K. (1992) Anthocyanin-tannin interactions explaining differences in polymeric phenols between white and red wines. *American Journal of Enology and Viticulture* 43, 63-70

Subileau, M., Schneider, R., Salmon, J.M. and Degryse, E. (2008) Nitrogen catabolite repression modulates the production of aromatic thiols characteristic of Sauvignon Blanc at the level of precursor transport. *FEMS Yeast Research* 8, 771-780.

Yoshizaki, Y., Takamine, K., Shimada, S., Uchihori, K., Okutsu, K., Tamaki, H., Ito, K. and Sameshima, Y. (2011) The formation of -damascenone in sweet potato Shochu. *Journal of the Institute of Brewing* 117, 217-



Ce qu'il faut retenir

Les vins de macération courte, de macération préfermentaire à froid et de macération préfermentaire à chaud suivie d'une vinification en phase solide présentent un profil sensoriel proche du témoin

Au-delà de toutes considérations analytiques, la macération carbonique s'est avérée particulièrement intéressante sur Carignan, la macération préfermentaire à froid sur Grenache et la macération courte sur Fer Servadou

Le chauffage de la vendange a induit de fortes modifications sur les paramètres analytiques (AV, acidité...) et aromatiques (- de composés aromatiques d'origine variétale)

Les vins de la macération préfermentaire à chaud suivie d'une vinification en phase liquide possèdent des teneurs supérieures en esters et en acétates (arômes fruités, fermentaires), ainsi qu'en acide gras (notes lactées)

Les vins élaborés par macération carbonique présentent des concentrations élevées en cinnamates (notes florales), en -damascénone (exhausteur du fruité) et en 3-Mercaptohexanol (arômes de cassis) en relation avec le métabolisme des acides aminés