HAL open science

Conduite des fermentations

Jean-Marie Sablayrolles, Morvan Coarer, Alain Poulard

To cite this version:

Jean-Marie Sablayrolles, Morvan Coarer, Alain Poulard. Conduite des fermentations. Les vins blancs : de la démarche marketing à la vinification, 2013. hal-01837708

HAL Id: hal-01837708

https://hal.science/hal-01837708

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les vins blancs de la démarche marketing à la vinification

Les clés d'un pilotage réussi

25788_vins_blancs.indb 1 13-10-16 2:41 PM

Ont contribué à l'ouvrage :

Rémi Schneider, coordinateur de l'ouvrage et des parties II et IV ; rédacteur du chap. 5 ; corédacteur du chap. 11 ; coordinateur et corédacteur du chap. 12

Laurent Audeguin : coordinateur de la partie III (avec T. Dufourq) et corédacteur du chap. 8
Michel Béttane : rédacteur des chap. 17, 18, 19
Jean-Michel Boursiquot : corédacteur du chap. 8
Françoise Brugière : coordination de la partie I, rédactrice des chap. 1, 2
Frédéric Charrier : corédacteur des chap. 12, 15
Véronique Cheynier : rédactrice du chap. 6
Morvan Coarer : corédacteur du chap. 13
Philippe Cottereau : corédacteur du chap. 10
Denis Dubourdieu, préfacier, coordinateur et corédacteur du chap. 16
Thierry Dufourcq : coordinateur de la partie III (avec L. Audeguin) et rédacteur du chap. 9
Bertrand Duteurtre : corédacteur du chap. 10
Sandrine Garbay : corédactrice du chap. 10
Vincent Gerbaux : coordinateur et corédacteur du chap. 14
Laurence Guérin : rédactrice des chap. 7 et corédactrice du chap. 12
Thierry Lacombe : corédacteur du chap. 8
Valérie Lavigne : corédactrice du chap. 16
Loïc Lecunff : corédacteur du chap. 8
Aline Lonvaud : corédactrice du chap. 14
Éric Meistermann : corédacteur du chap. 10
Laurent Michelet : corédacteur du chap. 10
Michel Moutounet : corédacteur du chap. 15
Christophe Palmowsky : rédacteur du chap. 4
Alain Poulard : coordinateur du chap. 13
Alain Razungles : coordinateur et corédacteur du chap. 10
Aurélie Roland : corédactrice du chap. 12
Jean-Marie Sablayrolles : corédacteur du chap. 13
Jean-Michel Salmon : coordinateur du chap. 15
Alain Samson : corédacteur du chap. 12
Anne Seguin : corédactrice du chap. 10
Éric Serrano : coordinateur et corédacteur du chap. 11
Christophe Sereno : corédacteur du chap. 8
Aude Vernhet : corédactrice du chap. 15
Jean-Claude Vidal : corédacteur du chap. 15

Nathalie Imbern, secrétaire de l'unité IFV de Pech-Rouge, qui a assuré avec efficacité la compilation des textes et des illustrations, leur mise en forme et les corrections.

VIGNE & VIN

Vigne

Les vins blancs de la démarche marketing à la vinification

Les clés d'un pilotage réussi

IFV
sous la direction de Rémi Schneider

ÉDITIONS France Agricole

25788_vins_blancs.indb 3 13-10-16 2:41 PM

La collection « Vigne et vin » est dirigée
par Jean-Luc Berger

Les vins blancs
de la démarche marketing à la vinification
Les clés d'un pilotage réussi

© Éditions France Agricole, 2013
ISBN : 978-2-85557-259-8

ÉDITIONS France Agricole

8, cité Paradis
75493 Paris cedex 10

Tous droits réservés pour tous pays.

Aux termes de l'article 40 de la loi du 11 mars 1957, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants cause est illicite ». L'article 41 de la même loi n'autorise que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et « les analyses et courtes citations », « sous réserve que soient indiqués clairement le nom de l'auteur et la source ». Toute représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, ne respectant pas la législation en vigueur constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 à 429 du Code pénal.

Sommaire

PRÉFACE IX
AVANT-PROPOS XIII

PARTIE I – ÉCONOMIE ET MARKETING DES VINS BLANCS 1

1 – POTENTIEL DE PRODUCTION 2

2 – PRODUCTION 9
Distillation 10
Production mondiale des vins mousseux 10
Consommation en vins tranquilles 11

3 – CONSOMMATION 12
Part de blanc dans la consommation de vins tranquilles de différents pays 12
Consommation de vins effervescents 13
Conclusion 14

4 – MARKETING DES VINS BLANCS, ATTENTES DES CONSOMMATEURS 15

PARTIE II – DÉTERMINANTS DE LA QUALITÉ DES RAISINS ET VINS BLANCS 19

5 – ARÔMES 21
Grandes voies de formation des composés volatils des vins 22
Constituants volatils variétaux du vin présents à l'état libre dans le raisin 25
Constituants volatils variétaux du vin formés à partir de précurseurs variétaux 26
Constituants volatils fermentaires du vin 32
Constituants volatils postfermentaires 34

6 – POLYPHÉNOLS 36
Composés phénoliques du raisin et leur extraction au cours de l'élaboration des moûts 36

25788_vins_blancs.indb 5 13-10-11 12:23 PM

Évolution des composés phénoliques dans les moûts 39
Impact organoleptique 44

7 – INFLUENCE DE L'ÉTAT SANITAIRE DES RAISINS 45
Moisissures 45
Levures 48
Bactéries 49
Influence des facteurs environnementaux sur l'écologie microbienne des raisins 50
Conclusions 52

PARTIE III – ASPECTS VITICOLES 53

8 – MATÉRIEL VÉGÉTAL 55
Encépagement actuel 55
Fiche 1 – Aligoté B 56
Fiche 2 – Chardonnay B 57
Fiche 3 – Chenin B 59
Fiche 4 – Clairette B 61
Fiche 5 – Colombard B 62
Fiche 6 – Gewürztraminer Rs 63
Fiche 7 – Grenache blanc B 65
Fiche 8 – Gros Manseng B 67
Fiche 9 – Macabeu B 69
Fiche 10 – Marsanne B 71
Fiche 11 – Mauzac B 73
Fiche 12 – Melon B 75
Fiche 13 – Muscat à petits grains blancs B 76
Fiche 14 – Muscat d'Alexandrie B 78
Fiche 15 – Petit Manseng B 80
Fiche 16 – Pinot blanc B 81
Fiche 17 – Pinot gris G 82
Fiche 18 – Piquepoul blanc B 84
Fiche 19 – Riesling B 85
Fiche 20 – Roussanne B 87
Fiche 21 – Sauvignon B 88
Fiche 22 – Sémillon B 90
Fiche 23 – Ugni blanc B 92
Fiche 24 – Vermentino B 94
Fiche 25 – Viognier B 96
Cépages de demain 98

25788_vins_blancs.indb 6 13-10-11 12:23 PM

9 – SYSTÈMES DE CONDUITE ET TECHNIQUES VITICOLES AU SERVICE DE LA COMPOSITION DES RAISINS ET DES VINS 102
Influence des modes de conduite sur la composition des raisins et des vins blancs 102
Valorisation du potentiel viticole par les pratiques culturales 105

PARTIE IV – ASPECTS ŒNOLOGIQUES 115

10 – LES GRANDS TYPES DE VINIFICATION 117
Vins blancs secs 117
Vins effervescents 123
Vins moelleux 126
Élaboration des vins doux naturels blancs 128
Vins spéciaux 131
Vinification biologique 136

11 – LA RÉCOLTE : CARACTÉRISATION DE LA VENDANGE 139
Principaux facteurs de détermination de la date de récolte 139
Capteurs et qualité de la matière première 140

12 – OPÉRATIONS PRÉFERMENTAIRES 146
Macération pelliculaire 146
Pressurage 147
Débourbage 152
Nouvelles techniques d'extraction des moûts : exemple du décanteur centrifuge 158

13 – FERMENTATION ALCOOLIQUE 164
Écologie microbienne 164
Conduite des fermentations 176

14 – FERMENTATION MALOLACTIQUE 185
Bactéries lactiques du vin 185
Maîtrise de la fermentation malolactique 188

15 – OPÉRATIONS POSTFERMENTAIRES 192
Élevage en cuve des vins blancs 192

25788_vins_blancs.indb 7 13-10-16 2:41 PM

Élevage en barrique 196
Préparation des vins au conditionnement 207
Conditionnement des vins 216

16 – VIEILLISSEMENT DES VINS BLANCS 226
Caractérisation du premox des vins blancs 226
Le glutathion, protecteur naturel du vieillissement prématuré des vins blancs 229

PARTIE V – DIVERSITÉ DE L'EXPRESSION SENSORIELLE DES VINS BLANCS DANS LE MONDE 235

17 – UNE DIVERSITÉ EXTRAORDINAIRE 237

18 – LES FACTEURS DE LA DIVERSITÉ 238
Influence du raisin 238
Caractères organoleptiques fondamentaux des cépages 238
Influence de la maturité du raisin 239
Influence de la vinification 240

19 – TERROIR, CLIMAT, HÉMISPHÈRES 243

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE 244

LISTE DES SIGLES 262

LISTE DES TABLEAUX 265

LISTE DES FIGURES 267

LISTE DES PHOTOS 270

INDEX 272

25788_vins_blancs.indb 8 13-10-11 12:23 PM

Préface

Excellente et opportune initiative de l'Institut français de la vigne et du vin, que cet ouvrage collectif d'actualisation des connaissances sur les vins blancs, coordonné par le Dr Rémi Schneider, et paru aux éditions France Agricole dans la collection « Vigne et Vin » dirigée par Jean-Luc Berger, ancien directeur technique de l'IFV.

Si les principes modernes de la vinification des vins rouges ont été établis dans les années 1960-1980, c'est dans les deux dernières décennies que la vinification des vins blancs a bénéficié de découvertes majeures dans des domaines variés. De nouvelles molécules intervenant dans l'arôme variétal des vins ont été identifiées. Le rôle clef de la levure dans la révélation de l'arôme de certains cépages à partir de précurseurs inodores a été démontré, les nombreux bienfaits de l'élevage traditionnel sur lies à l'égard de la stabilité physico-chimique et du goût des vins blancs ont été expliqués au niveau moléculaire, les divers mécanismes conduisant aux défauts olfactifs de réduction et les moyens de les prévenir ont été décrits. Les causes profondes, de la vigne à l'obturateur, du vieillissement oxydatif prématuré des vins blancs, ont été mises en évidence, et ces écueils, responsables du naufrage des plus grands vins blancs de garde, peuvent être parés. Bien d'autres avancées de la science œnologique dans le domaine des vins blancs sont rapportées ici.

Ce manuel intitulé *Les vins blancs de la démarche marketing* à *la vinification, les clefs d'un pilotage réussi*, rédigé par des spécialistes de chacun des sujets abordés, ne traite pas uniquement des aspects techniques de l'élaboration des vins blancs ; il donne aussi, de façon concise, des informations sur leur production, leur consommation, les attentes des consommateurs et les stratégies marketing qui en découlent. On y trouve également les considérations, particulièrement intéressantes et sensibles, d'un grand dégustateur français, Michel Bettane, sur la remarquable et précieuse diversité du goût des vins blancs, dont il est un défenseur indéfectible.

Beaucoup d'informations donc, documentées par une large bibliographie, sont ainsi rassemblées et organisées pour une lecture aisée capable de captiver les vinificateurs chevronnés et débutants, mais aussi certains amateurs, commerçants et sommeliers, curieux de comprendre comment se font les vins blancs d'aujourd'hui, et par quelles voies de la nature, élucidées par la science, naissent (et périssent) leurs saveurs et leurs parfums.

Ayant moi-même, comme chercheur, producteur et œnologue conseil, consacré une grande partie de ma vie aux vins blancs, je me permets, au début de cet ouvrage, de livrer au lecteur quelques réflexions sur la vinification en général et celle des vins blancs en particulier, ainsi que sur le rôle de la connaissance sur l'évolution des procédés.

Le grand (ou le bon) vin n'est pas un fait qui relève seulement de la technique mais une histoire d'hommes et de nature. Il procède, comme son dieu antique, Dyonisos, d'une conception et de deux naissances. La conception se fait dans l'esprit de ses auteurs. Vinifier, consiste à guider, en intervenant le moins possible mais à bon escient, le processus naturel de transformation du raisin en vin pour atteindre le goût que l'on a souhaité ; ce peut-être celui du vin blanc léger, fruité, désaltérant et jubilatoire, ou l'expression délicieuse, émouvante, complexe, contemporaine, inimitable et hautement culturelle d'une grande origine révélée par les années de conservation en bouteille. La finalité de la viticulture, c'est d'obtenir, millésime après millésime, le raisin qui permette d'atteindre ce goût souhaité ou « rêvé ».

25788_vins_blancs.indb 9 13-10-16 2:41 PM

La première naissance du vin, est sa naissance physique dans la cuve et dans les tonneaux. Il est accouché par l'expertise et la sensibilité de ses vinificateurs. Mais c'est sa deuxième naissance, humaine, qui le fait exister sur le marché et lui donne sa valeur. Elle advient dans la conscience des amateurs qu'il faut trouver, convaincre et garder par des réseaux de distribution appropriés. Ils « font » le vin autant que ses auteurs et ils en sont les supporters les plus efficaces.

Associée à l'expérience, la connaissance, simplifie généralement les itinéraires techniques ; elle aboutit à une vinification minimaliste, renforçant le lien entre le goût du vin et le terroir. Alors, par un heureux effet, « l'art cache l'art », la beauté du vin jaillit, affranchie de la trace du moule des méthodes employées. L'ignorance et la crédulité à l'égard de modes successives, en revanche, font souvent recourir à une débauche de moyens techniques pas toujours appropriés. Le vin est alors reconnaissable à l'empreinte laissée par les procédés mis en œuvre pour l'élaborer. La technique masque l'origine. Une autre manifestation de l'ignorance, non moins délétère, la défiance vis à vis de toute œnologie, argumentant un laisser faire total du raisin au vin, peut aussi, en faisant fi des lois de la nature, aboutir à des désastres gustatifs que seuls les idéologues peuvent défendre.

Enfin, je voudrais clore cette préface en pointant ce qui, selon moi, fait la particularité des vinifications en blanc. Cela apparaît dans l'ouvrage mais mérite d'être mis en exergue. Toute vinification combine la fermentation du moût libéré par la pulpe du raisin et une certaine extraction des constituants de la pellicule et éventuellement des pépins, par infusion ou macération. La tâche du vinificateur est donc double : piloter la fermentation pour qu'elle soit relativement rapide et complète, en évitant toute altération par des micro-organismes indésirables, et moduler la macération pour n'extraire du raisin que sa « meilleure » part en vue d'obtenir le vin désiré.

Dans la vinification des vins rouges, la fermentation alcoolique a lieu sans séparation préalable des parties solides de la baie. La macération ou cuvaison plus ou moins longue des pellicules et des pépins s'effectue essentiellement pendant et après la fermentation alcoolique, l'agent d'extraction étant surtout l'éthanol lui-même. Par ajustements, le vinificateur se rapproche, jour après jour, sur une durée de deux à quatre semaines, de la concentration tannique, de la couleur et des arômes qu'il souhaite dans le vin nouveau. Ainsi, pendant la cuvaison, le temps est l'allié du vinificateur.

Dans la vinification des vins blancs secs, le moût est séparé de la pellicule, des pépins et d'une grande partie de la pulpe avant toute fermentation alcoolique. La macération des parties solides s'effectue en phase aqueuse pendant l'extraction et la clarification du moût. Elle est déterminée par les conditions de pressurage des raisins et de débourbage des moûts. Quand la fermentation alcoolique a commencé, potentiellement le goût du vin blanc est déterminé. Aucun ajustement ultérieur n'est possible. Les choix faits pendant la phase préfermentaire en un temps limité, sont définitifs et les erreurs irréparables. Là, réside la singulière difficulté de cette élaboration.

La vinification des vins de pourriture noble offre un cas singulier de macération. Celle-ci se réalise, avant la cueillette, dans la baie elle-même dont la pellicule est intensément digérée par les enzymes de *Botrytis cinerea,* alors que la présence du champignon stimule une surproduction de précurseurs d'arômes par le raisin lui-même. Dans l'élaboration des vins de pourriture noble, « chaque baie est une petite cuve ». C'est la vendange qui met un terme à cette macération.

25788_vins_blancs.indb 10 13-10-11 12:23 PM

Ainsi, chaque vinification comporte une phase clef qui détermine l'extraction des constituants de la baie de raisin ; c'est la cuvaison fermentaire et postfermentaire pour les vins rouges, les transformations préfermentaires, pressurage et clarification des jus, pour les vins blancs secs, l'évolution de la pourriture noble et la rigueur de la cueillette pour les vins doux.

Mais, cher lecteur, assez de considérations générales. À vous de déguster à petites gorgées, ce savoureux ouvrage et d'en faire votre profit. *Nunc est bibendum !*

Pr Denis Dubourdieu
Directeur de l'Institut supérieur de la vigne et du vin de Bordeaux

25788_vins_blancs.indb 11 13-10-16 2:41 PM

À la mémoire du Dr Giuseppe Versini (1948-2010)

25788_vins_blancs.indb 12 13-10-16 2:41 PM

Avant-propos

L'objectif de cet ouvrage n'est pas de réaliser une mise au point exhaustive des connaissances qui gravitent autour de la vinification en blanc. Il s'agit plutôt de dresser un tableau actualisé sur un certain nombre de thématiques afin de permettre au lecteur, œnologue, producteur de vin, étudiant, d'avoir un panorama complet de la conduite des vinifications en blanc et de lui fournir un certain nombre de clés pour piloter au mieux les opérations œnologiques dont il a ou il aura éventuellement la charge.

Cet objectif par lui-même structure l'ouvrage, qui débute par une partie économie et marketing : avant de produire un vin, il est préférable de connaître le contexte économique dans lequel ce produit s'insère au niveau mondial, ainsi que d'avoir quelques informations sur les aspects marketing.

Bien évidemment, l'accent est ensuite largement mis sur les aspects techniques, depuis les vignobles jusqu'à la mise en bouteille.

Pour finir, une partie plus personnelle donnera la vision d'un dégustateur expérimenté qui nous fera partager son approche de la diversité des expressions sensorielles des vins blancs dans le monde.

Cet ouvrage est un ouvrage collectif : il a été fait appel à de nombreux spécialistes du monde de l'enseignement supérieur, de la recherche, de l'expérimentation, mais également à des acteurs du développement et de la production. Chacun a dressé un tableau des acquis dans son domaine à même d'apporter des éléments de réflexion au lecteur pour la conduite des vinifications en blanc. Ainsi, certains points de vue entre auteurs pourront paraître divergents, mais, par là même, ils sont source de questionnement. Par ailleurs, des redites pourront apparaître qui n'ont pas été supprimées afin de garder à chaque partie son homogénéité et faciliter la lecture.

25788_vins_blancs.indb 13 13-10-11 12:23 PM

Économie et marketing des vins blancs

25788_vins_blancs.indb 1 13-10-11 12:23 PM

1 Potentiel de production

En 2009, la superficie du vignoble mondial est estimée par l'Organisation internationale de la vigne et du vin (OIV) à 7,66 millions d'hectares. Environ les trois quarts des vignes produisent des raisins qui seront pressurés puis vinifiés, ce sont les vignes dites de cuve.

Il n'existe pas de statistiques consolidées sur la part des cépages blancs (ou plus exactement « autres que noirs ») dans le vignoble mondial. Néanmoins, il est possible de risquer une estimation en situant la part des blancs dans le vignoble dans une fourchette de 40 à 45 %, le vignoble européen étant à près de 50 % et le vignoble dit « du nouveau monde » étant complanté pour plus d'un tiers de blancs. Soit une superficie mondiale de vignoble de cuve blanc située entre 2,3 et 2,6 millions d'hectares.

D'un pays à l'autre la situation est extrêmement variable avec des vignobles presque totalement plantés de blancs : Luxembourg (92 %), Roumanie (84 %), Nouvelle-Zélande (74 %) et d'autres où le noir domine nettement : Chine 20 % de blanc, Argentine 23 % et Chili 27 %.

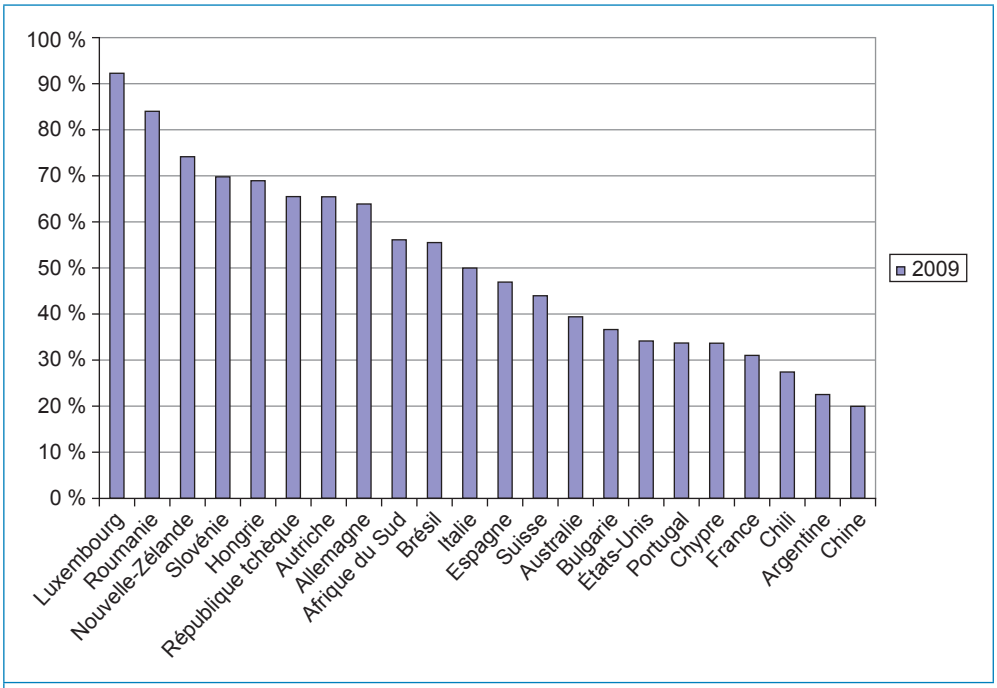


Figure 1.1 : Part des cépages « blancs » dans le vignoble de cuve (d'après des données Eurostat, OIV et FranceAgriMer)

25788_vins_blancs.indb 2 13-10-11 12:23 PM

Le vignoble de cuve blanc est concentré à 60 % sur les trois principaux pays viticoles et à 80 % dans les pays européens (Europe géographique). Les pays représentés sur sur *la figure 1.2* constituent les trois quarts du vignoble mondial de cuve.

Dans les années 1980, les spécialistes du marché du vin prédisaient un développement du marché mondial du vin par l'accession à la consommation de nouveaux consommateurs dans de nouveaux pays, séduits prioritairement par les vins blancs, préférentiellement moelleux. C'était sans compter avec la bombe médiatique du « *French Paradox* » qui va, dès 1995, modifier la tendance. Le bénéfice santé promis par les anthocyanes des vins rouges va stimuler la demande pour des vins rouges dont le goût va être adapté à une demande de consommateurs habitués aux boissons sucrées. La vigne étant une plante pérenne, le vignoble peine à s'adapter à la versatilité des tendances de consommation, mais, sur dix ans, le recul des superficies en blanc est sensible dans la plupart des pays sauf pour la Nouvelle-Zélande qui garde son orientation spécifique et d'autres pays comme la France, le Portugal et l'Italie où la structure de l'encépagement est partiellement figée par les règles des indications géographiques.

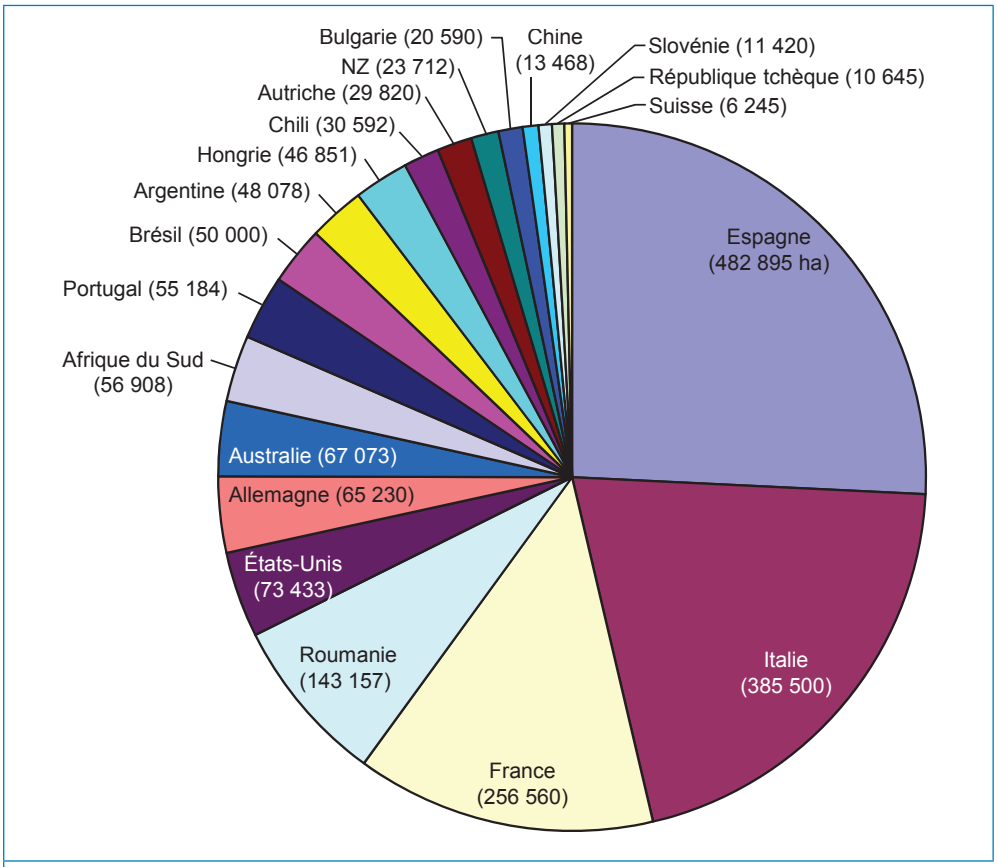


Figure 1.2 : Surfaces cépages blancs de cuve 2009, principaux pays (en ha, d'après des données Eurostat, OIV et FranceAgriMer)

25788_01_partie1.indd 3 13-10-17 11:12 AM

En termes de stabilité, le vignoble français est particulièrement remarquable comme en témoigne le *tableau 1.1* qui reprend les résultats de sources officielles à peu près tous les dix ans, et qui montre une grande constance de la part des blancs dans le vignoble alors même que celui-ci connaît des variations sensibles de sa surface totale.

D'après Jean-Michel Boursiquot (IHEV/Montpellier SupAgro), parmi les 10 cépages les plus importants dans le monde, 5 sont des blancs (Sultanine, Airen, Chardonnay, Ugni blanc et Sauvignon) et 5 sont des noirs (Cabernet Sauvignon, Merlot, Tempranillo, Grenache et Syrah).

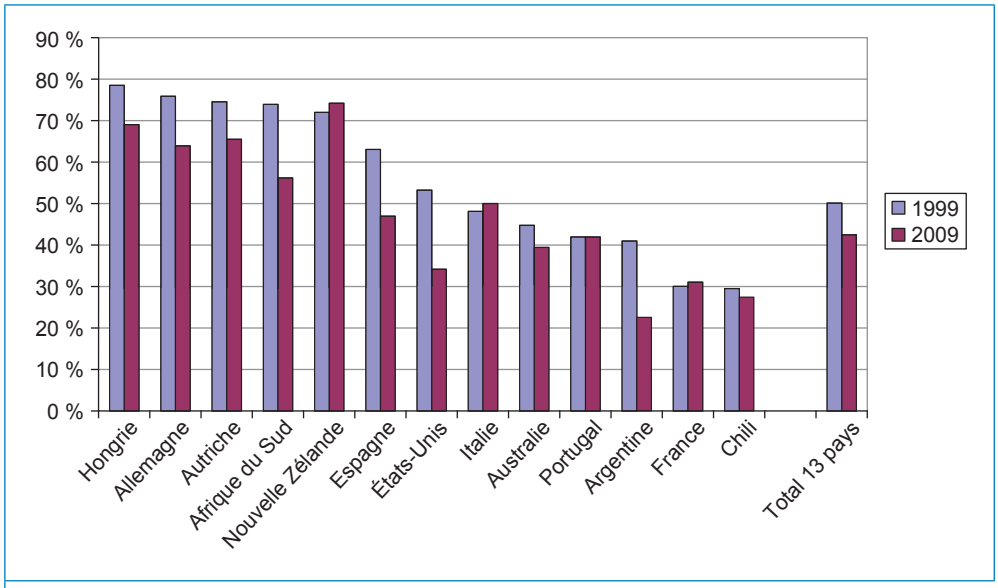


Figure 1.3 : Évolution de la part des cépages blancs dans le vignoble entre 1999 et 2009 (d'après des données Eurostat, OIV et FranceAgriMer)

Tableau 1.1 : Évolution de la part des cépages blancs dans le vignoble français depuis 1958 (d'après des données Eurostat, OIV et FranceAgriMer)

Année	1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
Source	Cadastre IVCC*	Cadastre IVCC	RGA* SCEES*-INSEE*	RGA SCEES-INSEE	CVI* DGDDI*	FAM* CVI DGDDI	FAM CVI DGDDI
Superficie totale du vignoble	823 271	908 815	899 935	856 158	834 293	826 713	807 086
Superficie cépages blancs	265 409	289 285	276 269	246 693	258 000	256 560	261 501
% blancs	32	32	31	29	31	31	32

* IVCC : Institut des vins de consommation courante ; RGA : recensement général agricole ; SCEES : Service central des enquêtes et études statistiques ; INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques ; CVI : casier viticole informatisé ; FAM : France AgriMer ; DGDDI : Direction générale des douanes et droits indirects.

25788_vins_blancs.indb 4 13-10-11 12:23 PM

La comparaison avec les estimations de Pierre Galet pour 1990 met en évidence des modifications significatives, néanmoins la concentration évolue peu : les 20 premiers cépages de la liste de Pierre Galet représentent 42 % de la superficie du vignoble mondial (OIV) et le top 20 de Jean-Michel Boursiquot atteint 38 % de la superficie mondiale (estimation 2011 de l'OIV).

En première analyse, on peut relever la diminution des superficies de cépages dont la production est destinée principalement à la distillation (Airen, Ugni…) et l'émergence récente des cépages dits « internationaux » Chardonnay et Sauvignon (qui ne figurent pas dans la liste des 20 premiers cépages de Galet pour 1990).

L'évolution de l'encépagement français en blanc suit les mêmes tendances.

La localisation géographique des cépages et l'usage des raisins sont en outre des données à prendre en compte.

- La Sultanine (335 mha), destinée à la consommation en frais ou en raisin sec, se trouve essentiellement en Turquie (100 mha) et aux États-Unis (83 mha). Elle se rencontre également en Grèce (25 mha), au Chili (20,9 mha) et en Afrique du Sud (11,6 mha), de même qu'en Chine (environ 15 mha) et en Australie (7,3 mha).
- L'Airen est exclusivement planté en Espagne, en très faible densité, et sa production est destinée en grande partie à la distillation.
- Le Chardonnay a connu un développement planétaire au cours des années 1990 et 2000, en particulier en Australie (28 mha en 2009) et aux États-Unis (38,5 mha en 2010). Avec près de 50 mha en 2011, la France conserve le plus grand vignoble de ce cépage. Cépage principal des appellations d'origine contrôlée (AOC) Champagne et Bourgogne, le Chardonnay a

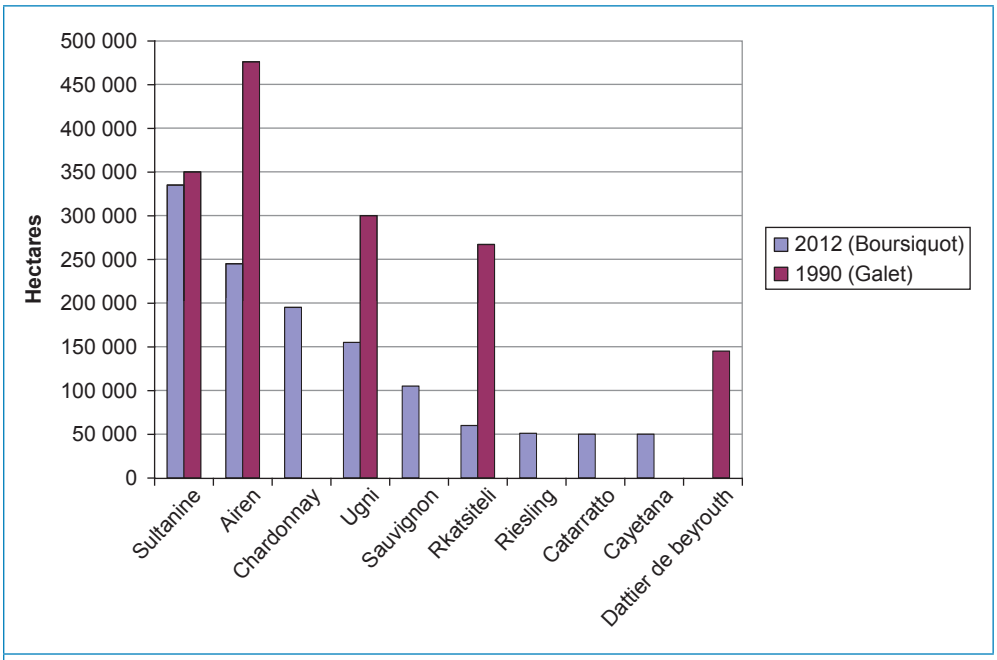


Figure 1.4 : Les principaux cépages blancs dans le monde (d'après J.-M. Boursiquot, communication personnelle)

25788_vins_blancs.indb 5 13-10-11 12:23 PM

vu sa consommation progresser fortement sous forme de « vin de cépage ». La *figure 1.6* reprenant la répartition du Chardonnay entre les différentes régions françaises montre qu'aujourd'hui la moitié du Chardonnay français se trouve en dehors des deux régions « historiques » Bourgogne et Champagne et est principalement revendiqué en indication géographique protégée (IGP) Pays d'Oc.

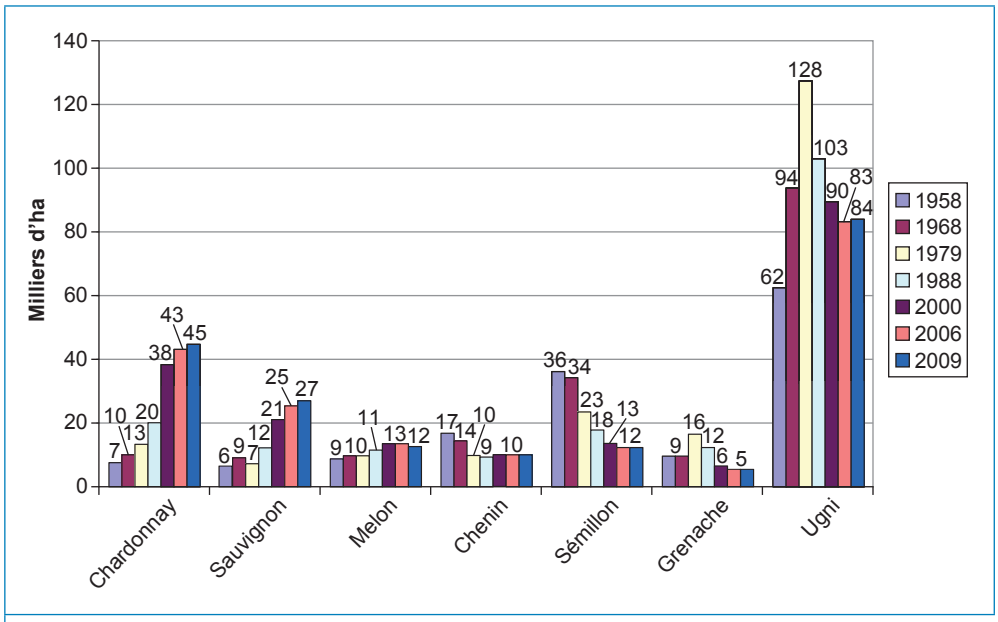


Figure 1.5 : Évolution de l'encépagement français en blanc de 1958 à 2009 (d'après J.-M. Boursiquot, communication personnelle)

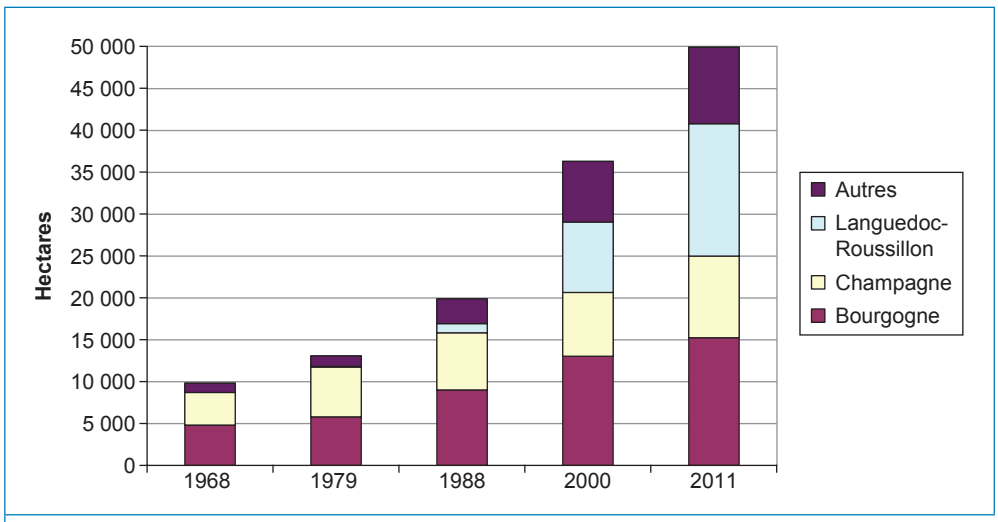


Figure 1.6 : Évolution de la répartition régionale du Chardonnay en France

25788_vins_blancs.indb 6 13-10-11 12:23 PM

- L'Ugni blanc est principalement planté en France (83 mha en 2011) et en Italie (58,5 mha en 2004). Ces deux pays concentrent plus de 90 % de l'Ugni mondial. Ce cépage est utilisé pour la distillation et comme base des vins effervescents. En France, 75 368 ha se trouvent dans les Charentes, 3 232 ha dans le Gers et 2 869 ha dans les départements du Var et de Vaucluse.
- À l'instar du Chardonnay, le Sauvignon connaît un engouement mondial dans les années 1990. Outre la France qui en compte désormais près de 30 mha, le premier producteur étranger est la Nouvelle-Zélande qui en a fait son cépage emblématique. Au début des années 1990, la Nouvelle-Zélande, tout comme l'Australie, comptait moins de 1 000 ha de Sauvignon. Elles en possèdent en 2010 respectivement 16,2 et 7 mha. Sur la même période, le Chili et l'Afrique du Sud passaient de 3 500 ha à 12,2 et 9,6 mha.
- En France, le Sauvignon a largement diffusé à partir de sa région d'origine l'Aquitaine pour se développer dans le Centre (Sancerre, Pouilly fumé...) et, à partir des années 1990, dans le Languedoc Roussillon.
- Le Rkatsiteli, cépage des pourtours de la mer Noire, est réputé être le plus vieux cépage connu, des grains ayant été retrouvés en Georgie dans des jarres enterrées datant de 3 000 ans avant J.-C. Il peut être vinifié ou distillé.
- Le Cayetana est un cépage très majoritairement espagnol (45 mha sur 50 mha), dont la production est largement distillée, notamment pour l'élaboration de Jerez (vin muté DO – Denominación de Origen).

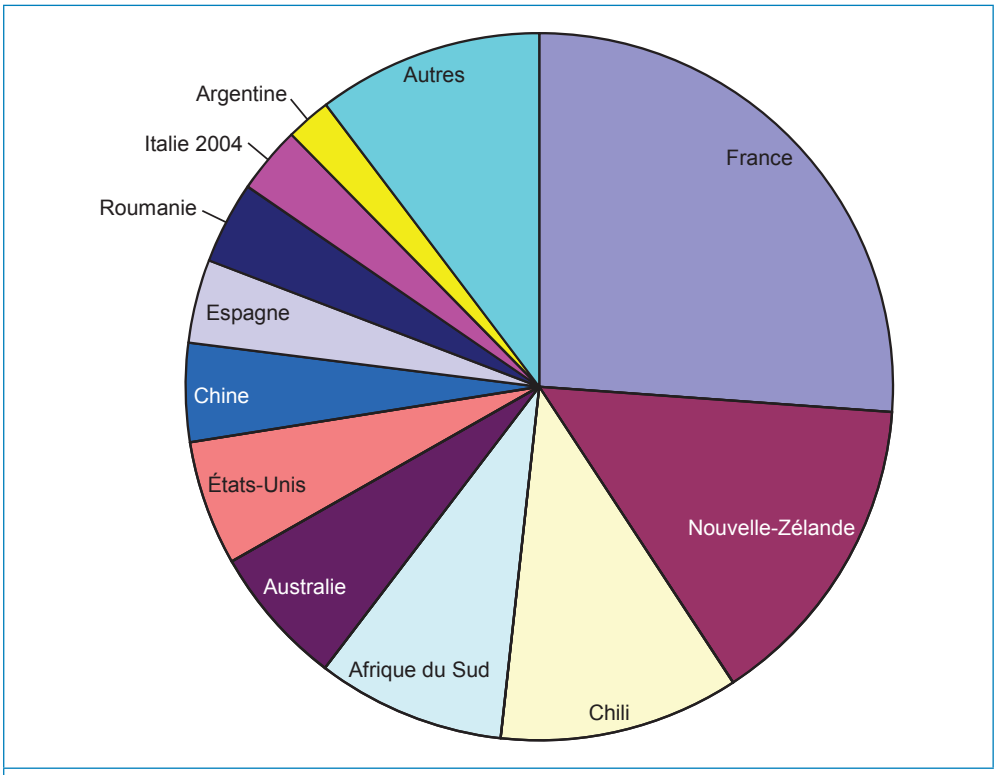


Figure 1.7 : Répartition mondiale du Sauvignon (2010)

25788_vins_blancs.indb 7 13-10-11 12:23 PM

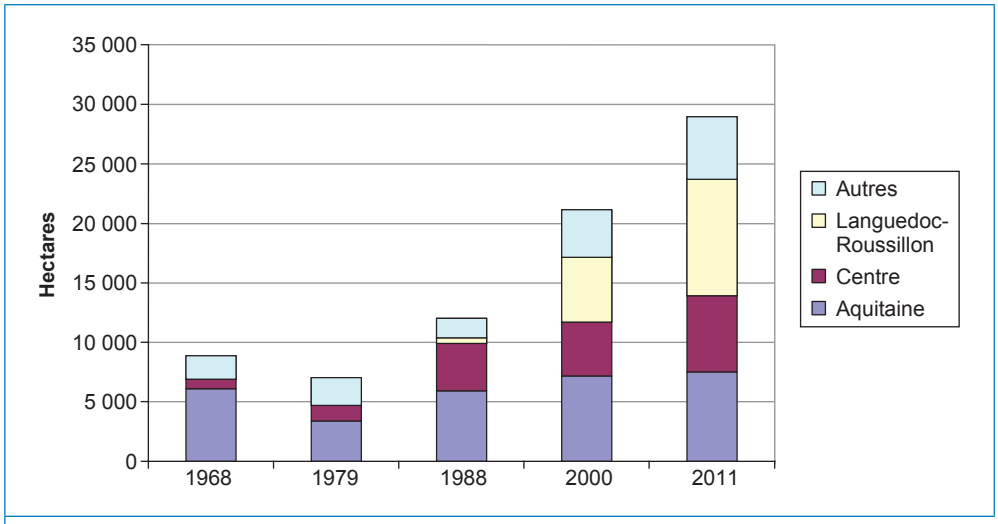


Figure 1.8 : Évolution de la répartition régionale du Sauvignon en France (1968-2011) (sources : recensements de l'agriculture 1968, 1979, 1988 et 2000 et DGDDI 2011)

- Le Catarratto est un cépage italien et plus précisément sicilien, très productif, autrefois utilisé dans la production du Marsala (vin muté DOC – Denominazioni di Origine Controllata), quasi exclusivement cultivé en Sicile (49 sur 50 000 ha).
- Quarante-quatre pour cent du Riesling mondial poussent en Allemagne dont il constitue, avec 22,6 mha, le tiers du vignoble blanc. De nombreux autres pays cultivent ce cépage, à commencer par la France 3 525 ha (jusqu'à présent uniquement en Alsace mais des expérimentations sont menées dans d'autres régions). La Chine en aurait planté 5 000 ha, l'Australie 4,2 mha, l'Ukraine 2,5 mha, la Hongrie 1,8 mha, les États-Unis 1,55 mha, la Russie 1,4 mha, l'Autriche 1,3 et la Nouvelle-Zélande 980 ha.

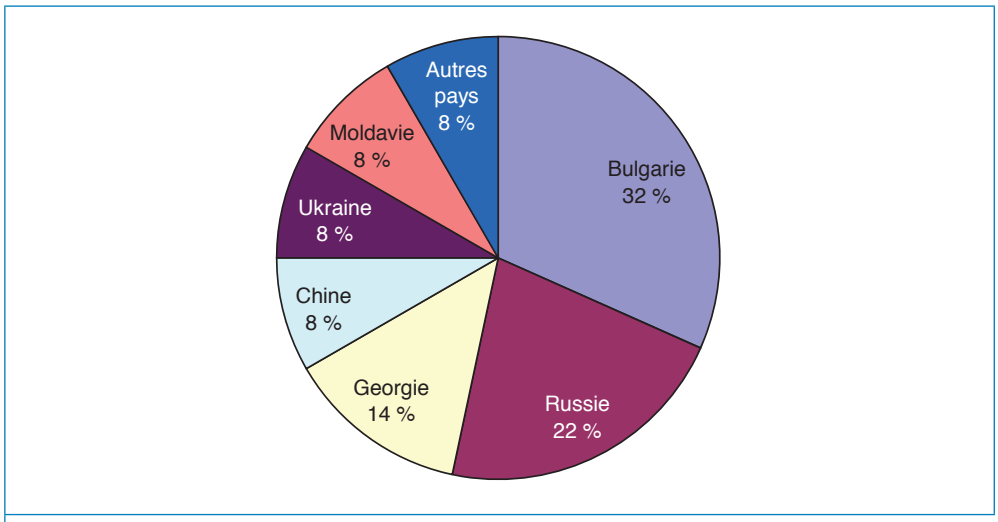


Figure 1.9 : Répartition mondiale du Rkatsiteli environ 60 000 ha en 2011 (d'après données de J.-M. Boursiquot, communication personnelle)

25788_vins_blancs.indb 8 13-10-11 12:23 PM

Production

2

De la même manière qu'il n'existe pas de données officielles de superficie mondiale en cépages blancs, il n'existe pas de données consolidées sur la répartition mondiale de la production de vin par couleur.

Sur la base des informations relevées sur le site Eurostat et sur les sites des différentes filières dans le monde il est possible d'estimer la part de vins blancs dans la production mondiale de vin entre 42 et 47 % soit entre 114 et 127 millions d'hectolitres. En milieu de fourchette, le volume de vins blancs produit se situe à 121,5 millions d'hectolitres.

La moitié des vins blancs sont produits par les trois principaux pays européens : l'Espagne, l'Italie et la France.

La production de vins blancs a trois destinations : la distillation, l'élaboration de vins mousseux et la consommation en vins tranquilles.

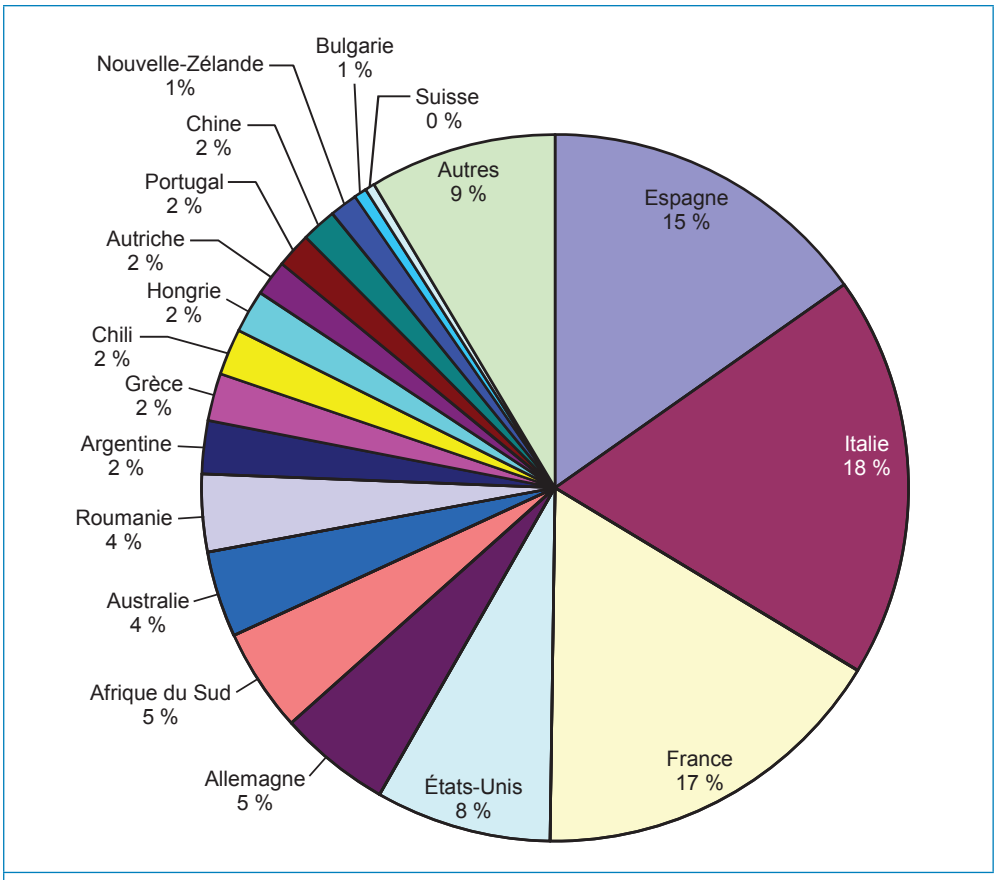


Figure 1.10 : Répartition de la production mondiale de vins blancs (estimation moyenne 2005-2009)

25788_vins_blancs.indb 9 13-10-11 12:23 PM

Distillation

Les principaux pays qui distillent des vins sont : l'Espagne (environ 5 millions d'hectolitres de vins blancs par an entre 2005 et 2009 d'après Eurostat), la France (environ 7 millions d'hectolitres de vins blancs distillés, dont près de 6 millions d'hectolitres en eau-de-vie à AOC, toujours en moyenne 2005-2009), l'Italie (environ 5 millions d'hectolitres distillés vraisemblablement à partir de vins blancs pour 50 à 60 % du volume), l'Allemagne distille chaque année environ 400 mhL de vins blancs.

La couleur des vins distillés au Portugal et en Roumanie n'est pas précisée par Eurostat.

L'Afrique du Sud distille environ 2 millions d'hectolitres chaque année, généralement à partir de vins blancs (source : Sawis)

On peut donc estimer le volume de vins blancs distillés chaque année entre 17 et 19 millions d'hectolitres.

Production mondiale des vins mousseux

Blanc de blanc et blanc de noir

La plupart des vins effervescents sont blancs à l'exception notable du Lambrusco italien qui est un vin pétillant doux rouge ou rosé. Mais tous ne sont pas issus de raisins blancs, à commencer par le champagne dont l'encépagement est à 38 % du Pinot noir, 32 % du Pinot meunier et 30 % du Chardonnay pour produire un vin blanc (la part du rosé en fort développement reste néanmoins anecdotique).

Au moment de la production, la destination du vin (tranquille ou effervescent) n'est pas toujours connue, les techniques d'élaboration des vins sont différentes selon les pays et la « prise de mousse » ne se fait pas forcément sur la zone de production. Aussi, les données de production de vins effervescents restent estimatives.

La production de vins effervescents est estimée à près de 17 millions d'hectolitres en moyenne pour 2005-2009 et monte à près de 18,5 millions d'hectolitres en 2010 soit 2,5 milliards de cols.

La production de vins effervescents représente environ 14 % de la production totale de vin blanc, part qui a tendance à légèrement progresser depuis 2002.

La production de vins effervescents, qui recouvre une large diversité de typologies de vin (Champagne, Prosecco, Cava, Sekt…), est essentiellement européenne.

La France (26 % de la production mondiale de vins effervescents) est le premier producteur avec 640 millions de cols en 2010 soit environ 10 % de sa production totale de vin. Le Champagne représente 50 % des volumes de vins effervescents produits.

Avec 380 millions de cols, l'Italie est le deuxième producteur de vins effervescents, le Prosecco représentant environ 25 % des volumes.

L'Allemagne est, d'une part, producteur de vins effervescents et, d'autre part, élaborateur (prise de mousse à partir de vins tranquilles importés). En 2010, l'Allemagne produirait ainsi un peu plus de 330 millions de cols de vins effervescents.

25788_vins_blancs.indb 10 13-10-11 12:23 PM

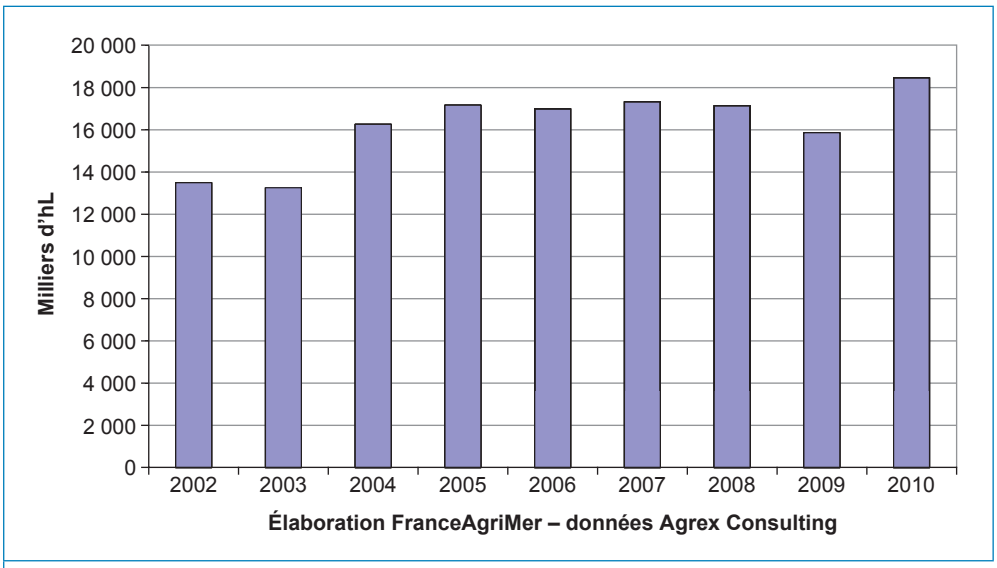


Figure 1.11 : Production mondiale de vins effervescents

Consommation en vins tranquilles

En partant du postulat que la production de vins effervescents est égale à sa consommation, on en déduit, par différence que la consommation mondiale annuelle de vins blancs tranquilles serait donc comprise entre 80 et 90 millions d'hectolitres.

25788_vins_blancs.indb 11 13-10-11 12:23 PM

3 Consommation

Part de blanc dans la consommation de vins tranquilles de différents pays

La part de vin blanc dans la consommation varie culturellement d'un pays à l'autre et évolue avec le temps. Par exemple, le choc médiatique dit du « *French Paradox* », du nom d'une émission de télévision aux États-Unis, qui, en attribuant la moindre prévalence des maladies cardiovasculaire en France à la consommation de vin rouge des Français, a stimulé les ventes de vins rouges sur le marché américain. À l'inverse, dans les pays traditionnellement producteurs et consommateurs comme la France, le recul de la consommation régulière au profit d'une consommation plus occasionnelle et festive se fait au détriment du vin rouge. Le même phénomène s'observe en Allemagne mais au détriment du vin blanc qui correspond à la consommation traditionnelle.

Nous ne disposons pas d'une source consolidée sur la couleur des vins consommés dans le monde mais de sources éparses, principalement les « panels » de distributeurs (IRISymphony) ou de consommateurs (GfK). Ces panels restituent des informations issues soit de l'analyse des ventes de la grande distribution (avec ou sans les enseignes de hard discount), soit des achats déclarés par les ménages dans différents circuits. Ces deux sources ont leurs limites et ne couvrent pas la consommation « hors domicile », dans les cafés et restaurants. Néanmoins, nous allons faire l'approximation de considérer que la structure par couleur de la consommation est peu déformée par les outils d'observation.

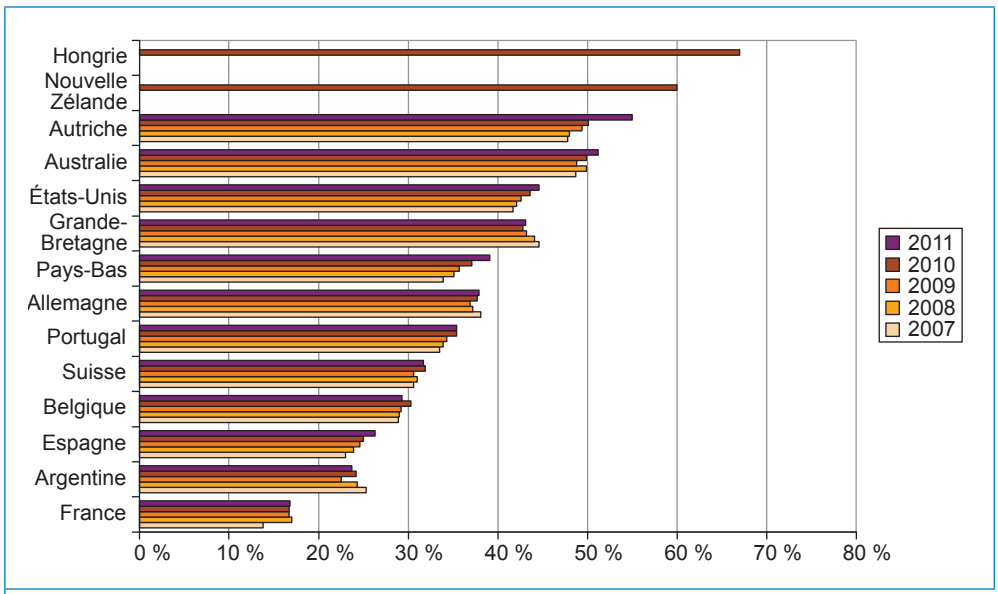


Figure 1.12 : Part des vins blancs dans la consommation de vin tranquille

25788_vins_blancs.indb 12 13-10-11 12:23 PM

Les experts de l'OIV contactés chacun pour leur pays estiment à 67 % la part de vins blancs dans la consommation hongroise et à 60 % dans celle de la Nouvelle-Zélande.

Parmi les autres pays pour lesquels nous avons pu recueillir l'information, celui dans lequel les vins blancs occupent la plus grande place est l'Autriche avec plus de 50 % de consommation en blanc, d'après le panel de consommateurs GfK. Cette part du blanc dans la consommation est cohérente avec leur place dans la production autrichienne.

Ensuite vient l'Australie, avec quasiment 50 % de la consommation en blanc (source : Wine Australia Corporation). Cette proportion semble stabilisée. En Nouvelle-Zélande, d'après un expert, la part de blanc dans la consommation serait de l'ordre de 60 %.

Aux États-Unis, la part des blancs est forte et en croissance (42 % en 2007, 45 % en 2011, d'après le panel de distributeurs IRISymphony) mais moins importante qu'à la fin des années 1980 où elle atteignait 70 % (source : étude Centre français du commerce extérieur – CFCE, Le marché mondial des vins blancs, 1989)

En Grande Bretagne, la part des blancs s'érode (45 % en 2007, 43 % en 2011) mais reste supérieure à 40 % d'après IRISymphony (contre plus de 60 % à la fin des années 1980).

Aux Pays-Bas, la part des blancs progresse régulièrement dans la consommation (34 % en 2007, 39 % en 2011 d'après IRISymphony).

D'autres pays connaissent une certaine stabilité de la part des vins blancs. À hauteur de 38 %, pour la consommation en Allemagne, un peu en dessous de 30 % en Belgique d'après le panel de consommateurs GfK, soit le même niveau que celui donné par l'étude du CFCE en 1989 ; et aux alentours de 17 % en France d'après le panel de distributeurs IRISymphony

Au Portugal (source : Nielsen), en Suisse (source : OFAG – Office fédéral de l'agriculture, Suisse) et en Espagne (source : ministère de l'Agriculture) la part des blancs progresse dans la consommation entre 2007 et 2011 atteignant respectivement 35 %, 32 % et 26 % de la consommation de vins tranquilles.

Enfin, en Argentine, d'après l'Institut national de la viti-viniculture (INV), la part des vins blancs dans la consommation de vins tranquilles diminue légèrement mais reste proche de 25 %.

Consommation de vins effervescents

L'Allemagne et la France sont les premiers consommateurs de vins effervescents au monde. Selon l'estimation de la consommation apparente de vins effervescents, l'Allemagne arrive en tête avec 480 millions de cols suivis de près par la France (460 millions de cols). Arrivent ensuite la Russie (avec près de 350 millions de cols), les États-Unis (à 250 millions de cols), l'Italie (à 170 millions de cols), le Royaume-Uni et l'Espagne (chacun à 100 millions de cols).

Rapportée au nombre de bouteilles par habitant, la France se place encore une fois première du classement, affichant une consommation moyenne de 7 bouteilles par an. Les Allemands suivent avec 6 bouteilles par an, et les Italiens arrivent en troisième position avec seulement 3 bouteilles par an (source : FranceAgriMer – FAM).

25788_vins_blancs.indb 13 13-10-11 12:23 PM

Conclusion

Au début des années 1990, le vin blanc devait dynamiser la consommation grâce à des vins doux qui sauraient séduire les femmes. Aujourd'hui ce cliché a fait long feu, la consommation de vin blanc se développe dans nombre de pays, principalement par les cépages Chardonnay et Sauvignon, mais aussi grâce à d'autres cépages plus localisés comme le Viognier, le Vermentino ou le Riesling. La palette des goûts mondiaux s'affine après une période où le boisage avait trop écrasé ces vins. Les vins blancs sont particulièrement adaptés aux modes de consommation en croissance, en dehors des repas. Mais peut-on parler d'un marketing des vins blancs ? C'est à Christophe Palmowski de nous en parler.

25788_vins_blancs.indb 14 13-10-11 12:23 PM

4

Marketing des vins blancs, attentes des consommateurs

Comme nous venons de le voir, nous produisons du vin blanc dans toutes les régions viticoles que ce soit dans l'hémisphère nord ou sud. Le talent des vinificateurs, les spécificités culturelles, les terroirs permettent de produire une très large palette de vins, du blanc sec et fruité sur des arômes primaires en passant par des vins plus gras, plus complexes, pour finir sur des vins où la richesse en sucre convient parfaitement pour une fin de repas, sans oublier la magie des effervescents pour les moments de fêtes.

Les progrès techniques qui sont présentés dans cet ouvrage renforcent la qualité ou l'expression des vins, quel que soit le segment de marché. Est-ce que le consommateur perçoit ces évolutions ? Comment fait-il ses choix ? Comment évolue la demande sur les marchés ? Quels sont les axes de développement pour maintenir une viticulture rentable ?

Comme cité précédemment, le vin blanc ne bénéficie pas de l'effet « *French Paradox* » des vins rouges qui a aidé au développement de la consommation de vin sur le marché chinois particulièrement sensible à l'alimentation thérapeutique. Cependant, nous avons vu dans un deuxième temps, une demande sur les vins blancs se développer particulièrement dans le sud de la Chine. La conjonction de facteurs comme l'absence de tanins a séduit les palais féminins. La subtilité des arômes des vins blancs s'accorde bien avec une cuisine plutôt orientée vers les produits de la mer. En revanche, certaines particularités du marché avaient échappé à nos esprits occidentaux (*photo 1.1*).

En premier lieu, le terme vin blanc n'existe pas en chinois. Difficile de promouvoir une catégorie qui n'existe pas dans la tête du consommateur. Le vin rouge se dit *hong jiu* que l'on peut traduire par « alcool rouge » alors que vin blanc se traduirait par *bai Jiu,* « alcool blanc ». Mais ce terme désigne principalement les alcools de céréales locaux. Alors, pour différencier le vin blanc, la langue chinoise utilise souvent *bai hong jui* que l'on peut traduire par « vin rouge blanc » pour préciser le contexte du produit. Cela montre qu'en fonction du marché, un travail d'analyse doit être fait pour adapter son offre et ses actions. Un deuxième élément clé, la température de service, il est nécessaire d'éduquer le consommateur à boire ces vins frais. Tout un programme d'éducation est à mettre en place. Tous ces rituels de consommation issus de notre culture qui nous semble si naturels prennent du temps à se mettre en place et nécessitent de gros moyens de communication et des marques fortes. C'est l'axe choisi par les Sauvignon de Nouvelle-Zélande comme Cloudy Bay.

Cloudy Bay est le nom de la baie située à l'extrémité Est de la Wairau Valley à Marlborough, baptisée ainsi par l'explorateur James Cook au XVIIIe siècle. C'est aussi le nom du plus célèbre domaine viticole néo-zélandais créé par David Hohnen et Kevin Judd, venus du domaine australien Cape Mentelle en 1985. À l'époque, seule une poignée de producteurs est établie à Marlborough et les vins n'ont guère de réputation. Très vite, Cloudy Bay se fait un nom grâce à des vins particulièrement aromatiques et vifs issus du Sauvignon blanc. Le style Cloudy Bay

25788_01_partie1.indd 15 13-10-16 3:30 PM

Photo 1.1 : Campagne Alsace fleurs pure expression de la nature

devient un standard national rapidement imité par beaucoup de producteurs. Cloudy Bay a développé sa gamme tout en restant fidèle à un style de vins qui fait son succès : finesse, fraîcheur et expression aromatique.

D'un point de vue marketing, un des éléments clé de la réussite est de bien comprendre le niveau d'implication du consommateur dans son acte d'achat. Nous sommes désormais dans un marché internationalisé où la compétition est rude. Les entreprises doivent définir des stratégies marketing où l'on pense globalement mais où l'on agit localement. Il faut segmenter le marché, positionner l'offre, définir des gammes de vins adaptées que ce soit du point de vue liquide ou contenant. Définir une politique de marque, choisir ses circuits de distribution et ses canaux de communications en fonction d'une vision réaliste des marchés de consommation.

Il existe plusieurs typologies de consommateurs à la recherche de plus ou moins d'informations sur la qualité intrinsèque du produit et nous continuons dans la filière à avoir un discours complexe, élitiste sur des descriptions organoleptiques d'experts sur l'ensemble des segments du marché.

Simplifier et adapter le discours, ce n'est pas forcément l'appauvrir mais le rendre accessible.

25788_vins_blancs.indb 16 13-10-11 12:23 PM

Le consommateur choisit un vin en fonction de certains attributs intrinsèques (les caractéristiques organoleptiques) mais aussi de ses attributs extrinsèques (le prix, l'origine géographique, les cépages, le millésime, le nom du producteur, la praticité). Le consommateur n'a pas la possibilité d'évaluer l'ensemble de ces informations. Comment savoir si le prix de cette bouteille est conforme aux promesses gustatives énoncées. Est-il capable de porter un jugement objectif des qualités de ce vin ?

Nous continuons à accorder autant d'importance à des éléments complexes, le consommateur finit par se détourner vers d'autres boissons.

Un exemple de marketing de nouvelle génération où les qualités intrinsèques du vin sont utilisées pour satisfaire le goût du consommateur et les attributs de la marque provoque l'acte d'achat.

Barefoot est une marque créée en 1965, relancée en 1985 par Michaël Houlihan et rachetée en 2005 par E&J Gallo alors qu'elle produit 500 000 caisses (9 L). En 2010, la marque représente plus de 10 millions de bouteilles, et aujourd'hui présente dans 60 pays avec plus de 16 millions de caisses (192 millions de bouteilles). Barefoot applique une stratégie de « lovemark », c'est-à-dire d'entreprise ou de marque qui crée de véritables liens émotionnels avec les réseaux et les communautés dans lesquels ils sont investis. Une « lovemark » se doit d'être iconique, aimée par le consommateur et unique. En général, elles créent de la fidélité au-delà de la raison.

Le positionnement de la marque est celui des vins funs, savoureux et abordables. Elle se veut dynamique à l'inverse des vins traditionnels parfois ennuyeux. Elle se distingue par une « oasis de fun dans un univers traditionnel ».

Un élément clé de la stratégie : penser globalement, agir localement.

L'objectif de la marque est ambitieux, devenir la première marque de vin en valeur au niveau mondial. Barefoot est axée sur le consommateur qui est au centre de toutes les actions de la marque.

Les quatre piliers de la marque :

- créer une communauté et collecter des fonds pour des œuvres caritatives. Ces actions sont initiées par leurs ambassadeurs « les barefooters » ;
- construire des partenariats locaux avec les groupes LGBT (lesbiennes, gays, bisexuels et transsexuels) au travers d'événements comme la Gay pride dans le monde ;
- participer au nettoyage du littoral, des plages, cours d'eau, lacs et rivières ;
- marcher pour une cause, participer à des marches qui impliquent aussi bien les distributeurs, les partenaires et les consommateurs.

Toutes ces actions s'appuient sur un réseau de « barefooters » qui sont des ambassadeurs dont l'attitude et la personnalité reflètent le côté festif et décontracté de la marque ; sur une large communauté Facebook de plus de 370 000 fans et un site internet en parfaite adéquation à la marque qui présente des associations de consommation comme le « Riesling Mojito ». Ils recrutent par des actions directes auprès du consommateur, par des actions dans les circuits de distributions mais aussi dans le cadre des événements par une politique d'échantillonnage très importante. En Europe, la marque a déjà échantillonné plus de 180 000 consommateurs.

Coté vin : des vins légers, faciles à boire, fidèles aux cépages, rafraîchissants, faciles à marier avec de nombreux plats. Une consommation décomplexée avec des bouteilles en capsules à vis et sans millésime. Il faut aller voir sur le site internet de quelle façon la marque apporte des réponses simples et efficaces à cette génération de consommateurs peu impliqués dans leur

25788_vins_blancs.indb 17 13-10-11 12:23 PM

Photo 1.2 : Moscato blanc Barefoot

Photo 1.3 : Pink Moscato Barefoot

choix de vins où ils recherchent la simplicité et des réponses qui leur correspondent. La gamme comprend aussi bien un Riesling, un Pinot grigio, un Chardonnay, un Sauvignon, un Moscato en blanc (*photo 1.2*), un white Zinfandel (c'est du rosé), un pink Moscato, voire un pink Moscato à bulles (*photo 1.3*). Est-il concevable en France d'utiliser un cépage aromatique comme le Muscat à hauteur de 85 %, de colorer l'assemblage avec un Grenache rosé et de compléter avec un peu de Chenin blanc et de Colombard pour ajouter de la fraîcheur ? De le proposer en accord mets et vins avec une salade de fruits frais, de la cuisine asiatique ou des tapas épicés ? De créer des marques « Barefoot Refresh » avec simplement Crisp white ou Sweet white comme bloc marque ? Un seul élément de réassurance concernant la satisfaction du consommateur, une mention qui précise que Barefoot est la marque la plus médaillée des vins de Californie.

Globalement, les dernières études en France montrent que nous perdons régulièrement des consommateurs, qu'ils deviennent de plus en plus occasionnels, voire non consommateurs. Des boissons alternatives prennent la place. Les goûts changent, les nouvelles générations préfèrent les arômes plus excessifs, consomment des boissons avec des niveaux de sucres très élevés. Comment expliquer le succès des boissons aromatisées à base de vin (vin blanc plus sirop de pêche, de citron, voire de pomme) ?

Un des objectifs du marketing est de recruter de nouveaux consommateurs et nous savons que ces consommateurs vont évoluer dans leur consommation. Les faire commencer par des vins frais, légèrement pétillants, avec un peu de sucre résiduel étant jeune peut les amener dans leur consommation à venir vers des vins plus complexes, d'origine, de terroir.

À partir de ce moment-là, nous pouvons parler d'un consommateur plus impliqué dans ses choix à qui nous pouvons passer des messages plus complexes sur l'histoire de nos vignobles, la spécificité de nos appellations, l'incidence des choix qui y sont faits.

25788_01_partie1.indd 18 13-10-16 3:30 PM

II

Déterminants de la qualité des raisins et vins blancs

25788_vins_blancs.indb 19 13-10-11 12:23 PM

Comme nous venons de le voir, un vin doit être produit pour être vendu : ce doit être, si l'on ose s'exprimer ainsi, sa première qualité.

La connaissance des marchés et des attentes des consommateurs est donc une première étape dans la stratégie de production. Mais ce n'est qu'une première étape, et il reste au vinificateur à prendre en considération les aspects techniques de production de raisins et d'élaboration des vins qui permettront au vin d'être en adéquation avec l'objectif fixé.

La partie qui suit s'attache à exposer un état des connaissances, actualisé si ce n'est exhaustif, sur les principaux déterminants de la qualité des raisins et vins blancs que sont les composés d'arômes et leurs précurseurs, les polyphénols, et sur l'état sanitaire de la vendange.

25788_vins_blancs.indb 20 13-10-11 12:23 PM

Arômes

5

La qualité aromatique des vins blancs est vraisemblablement la première des qualités recherchées par les consommateurs, déclencheuse d'achat et de fidélisation. Comme dans les vins rouges et rosés, les composés d'arôme responsables du profil aromatique des vins blanc sont nombreux et complexes, car ils sont formés tout au long de la chaîne de transformation, du raisin au vin, et évoluent ensuite lors du stockage.

Si plus de 1 000 composés d'arôme ont pu être identifiés jusqu'à présent, force est de constater que seule une cinquantaine doivent être considérés comme des composés qui impactent véritablement le profil sensoriel des vins. Au-delà de leur présence, les études récentes montrent que nombre de notes olfactives sont la résultante d'interaction entre les différents composés volatils ou avec la matrice. Ainsi, selon la théorie développée par Ferreira (2012) les composés d'arômes pourraient être classés en trois catégories :

- les composés participant au « tampon aromatique » du vin, c'est-à-dire la base vineuse de l'arôme constituée essentiellement par les composés d'origine fermentaire. Dans les concentrations classiques, il est difficile de reconnaître l'odeur spécifique de tel ou tel constituant du tampon ;
- les composés d'impact, dont la présence à partir d'une certaine concentration est à même de rompre le tampon, c'est-à-dire de conférer au vin une note particulière perceptible par-dessus la note vineuse. C'est notamment le cas de composés d'origine variétale comme les monoterpènes ou les thiols variétaux, mais aussi des composés responsables des défauts des vins ;
- les exhausteurs ou les masques, qui intensifient ou diminuent l'intensité de la perception olfactive sans que leur odeur soit elle-même décelable. Des études récentes montrent que nombre de composés jouent ce rôle, comme le sulfure de diméthyle, la β-damascénone ou la 3-isobutyl-2-méthoxypyrazine, à des niveaux infraliminaires (en dessous de son seuil de perception olfactive[1]).

Il faut noter qu'un certain nombre de composés sont exhausteurs ou masques à des teneurs faibles, et qu'ils deviennent directement perceptibles quand leurs teneurs dépassent largement leur seuil de perception olfactive.

Au-delà toutefois de cette classification qui fait référence à la construction des profils aromatiques des vins, il convient cependant, dans un ouvrage dédié aux praticiens, de balayer les composés volatils d'intérêt et leurs voies de biogenèse et de dresser des pistes de contrôle de leur formation dans les vins, qui pourront être autant de moyens de piloter le profil du vin.

1. Seuil de perception olfactive : concentration d'un composé à partir de laquelle 50 % d'un jury d'analyse sensorielle est capable de déceler sa présence dans un test triangulaire (sans pour autant pouvoir « nommer cette différence »).

25788_vins_blancs.indb 21 13-10-11 12:23 PM

Grandes voies de formation des composés volatils des vins

Les raisins de cuve, en dehors des variétés muscatées riches en monoterpènes, responsables de leurs notes olfactives florales, sont pauvres en composés odorants. Pourtant, la plupart permettent d'élaborer des vins de qualité, dans lesquels les particularités de leur arôme jouent un grand rôle. Cette spécificité est due à la présence dans le raisin de constituants inodores, appelés précurseurs d'arômes variétaux, qui sont susceptibles de former, au cours de la vinification, des composés volatils spécifiques. Au cours de la fermentation alcoolique (FA), étape clé de la vinification, la levure utilise divers substrats pour son métabolisme primaire, dont les principaux sont les sucres, les lipides, les sources d'azote et de soufre. Ils peuvent être également considérés comme des composés précurseurs, mais sont non spécifiques, puisqu'ils conduisent aux produits volatils secondaires de la fermentation alcoolique, les arômes fermentaires. Ces derniers sont responsables de la note vineuse, comme mentionné précédemment.

Les précurseurs variétaux se distinguent des précurseurs non spécifiques par le fait que l'on retrouve dans le composé volatil issu de leur clivage, le squelette originel, biosynthétisé par la plante (*figure 2.1*). Au contraire, la levure transforme ses substrats principaux en composés volatils fermentaires par des modifications structurales plus complexes que le clivage d'une seule liaison comme dans le cas des précurseurs variétaux, et les quantités formées dépendent essentiellement de la levure et des conditions de fermentation. Par ailleurs, les précurseurs variétaux, par manque de connaissance et par leur difficulté d'analyse, sont actuellement difficilement maîtrisables. Ces derniers sont influencés par les facteurs biologiques (porte-greffe, variété et clone du raisin), édaphiques et climatiques (terroir et millésime), et leur maîtrise reste donc un des défis majeurs de la recherche.

Les composés d'arôme du stade variétal sont les composés libres et liés[2] présents dans le raisin, et qui se retrouvent ensuite dans le vin. Ce sont surtout, nous l'avons vu, des précurseurs d'arômes, parmi les lesquels on trouve (*figure 2.1*) : les glycoconjugués (1), les caroténoïdes (2), les conjugués à la cystéine (3) et au glutathion (4), la S-méthylméthionine (5) et le diméthylsulfoxyde (6), les acides gras insaturés (7) et les acides phénols (8). Toutefois, quelques cépages renferment des constituants volatils à l'état libre. Ainsi, outre les monoterpénols odorants des cépages muscatés, aux squelettes acyclique (9a) et cyclique (9b) (*figure 2.2*), l'œnologue devra également prendre en compte l'influence possible de quelques méthoxyalkylpyrazines (10, *figure 2.2*), présentes principalement dans le Sauvignon pour les variés blanches. Il faut signaler en outre l'identification récente de la rotundone (11, *figure 2.2*), même si jusqu'à présent sa présence n'est démontrée que dans des variétés rouges comme la Syrah.

À partir de ces constituants du raisin, variétaux ou non spécifiques, les composés de l'arôme du vin prennent naissance et évoluent tout au long des divers stades de la filière biotechnologique du vin : stades variétal, préfermentaire, fermentaire et postfermentaire.

Le stade préfermentaire inclut les étapes allant de la récolte au début de la fermentation alcoolique. Les seuls composés d'arôme formés à ce stade, et connus à ce jour, sont principalement obtenus par l'action d'enzymes du raisin sur certains substrats, comme les lipides à acides gras insaturés à dix-huit atomes de carbone, donnant des composés à six atomes de carbone, ou comme certains glycoconjugués, libérés en faibles quantités à ce stade, par réactions enzymatiques ou chimiques.

---

2. Le composé volatil lié, dans un précurseur variétal, par la liaison susceptible d'être coupée pour le libérer, est dit composé lié, et ce terme désigne aussi le précurseur. Un glycoside de linalol est donc un composé lié : c'est un linalol lié. Les constituants volatils variétaux de l'arôme du vin recouvrent ainsi les constituants libres du raisin et tous les composés volatils formés à partir des constituants liés.

25788_vins_blancs.indb 22 13-10-11 12:23 PM

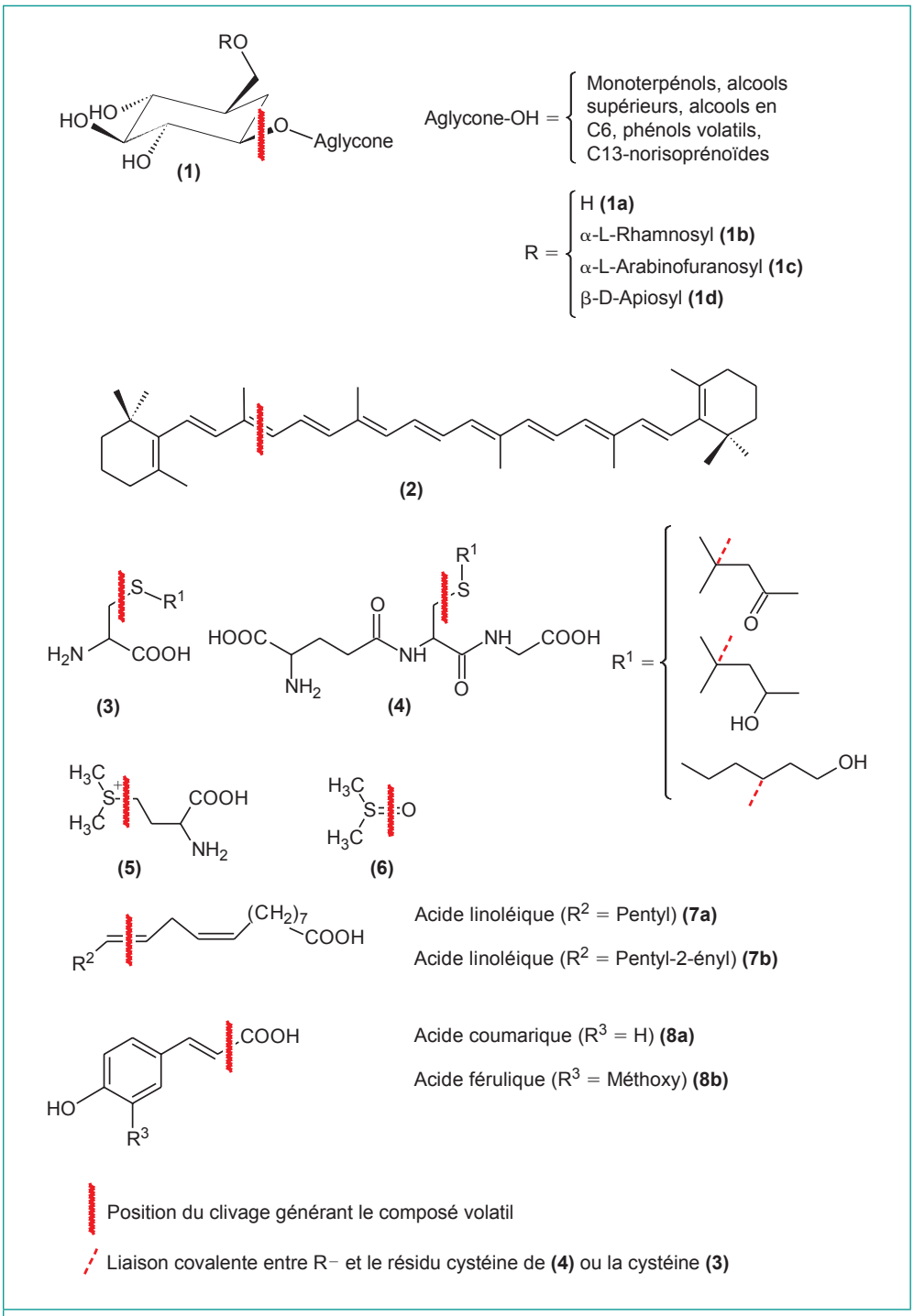
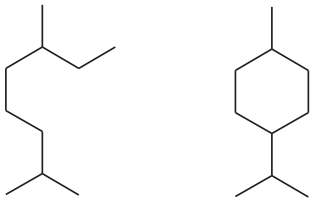
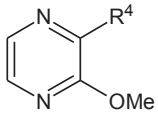


Figure 2.1 : Structure chimique des principaux précurseurs d'arômes présents dans les raisins et les moûts

25788_vins_blancs.indb 23 13-10-11 12:23 PM

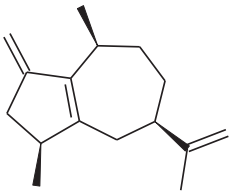


(9a) (9b)



R^4 = i-butyl, sec-butyl, i-propyl

(10)



(11)

Figure 2.2 : Structure chimique de quelques composés d'arômes des raisins et des vins

Les constituants fermentaires de l'arôme sont avant tout des produits secondaires volatils du métabolisme de la levure, formés à partir des nutriments non spécifiques du raisin au cours de la fermentation alcoolique. Les quelques produits volatils peu nombreux, formés par les bactéries lactiques au cours de la fermentation malolactique, quand cette dernière est effectuée, sont également classés parmi les constituants fermentaires, mais ils n'ont qu'un rôle limité sur l'arôme fermentaire. Levures et bactéries lactiques peuvent aussi former à partir de certains précurseurs variétaux, des composés odorants, mais ceux-ci sont classés parmi les constituants variétaux de l'arôme du vin. Bien que la composante fermentaire soit considérée comme une base aromatique commune à tous les vins, cette base n'est pas unique, et de nombreux travaux ont montré que la balance entre ses divers constituants pouvait varier sous l'effet de nombreux paramètres, rendant possible sa modulation par les combinaisons des diverses notes olfactives disponibles.

Le stade postfermentaire inclut l'élevage et la conservation du vin, en conditions réductrices pour la plupart des vins secs, et en conditions oxydatives pour certains vins oxydés (vins jaunes, vins doux naturels – VDN – du Roussillon…). Les composés formés à ce stade proviennent essentiellement de transformations chimiques des constituants du vin jeune, qu'il s'agisse de composés variétaux ou non, libres ou liés. Selon leur stabilité dans les conditions du vieillissement, les composés formés peuvent à leur tour être transformés, ces phénomènes expliquant l'évolution de l'arôme du vin à ce stade. Une place à part est faite aux constituants provenant de vieillissement en conditions oxydatives et à ceux extraits du bois de chêne dans le cas d'élevage ou de vinification en fût de chêne.

25788_vins_blancs.indb 24 13-10-11 12:23 PM

L'élaboration des vins blancs, comparée à celle des vins rouges, minimise le temps et la température de contact des parties solides du raisin avec le jus, que le jus soit obtenu par pressurage direct ou même avec macération. De plus, ce contact a lieu en l'absence d'éthanol. Ces conditions limitent donc l'extraction de la composante variétale de l'arôme, plus difficilement extraite que les sucres, les sources d'azote ou de soufre, car souvent présente dans la pellicule des raisins. Cela montre l'importance des opérations du stade préfermentaire, qui devront être optimisées, en fonction de l'état des raisins vinifiés, pour récupérer suffisamment de composante variétale favorable à la qualité et à la typicité, tout en limitant la genèse de composés non souhaités, volatils ou pas.

Constituants volatils variétaux du vin présents à l'état libre dans le raisin

Les constituants volatils libres du raisin, susceptibles de typer l'arôme de leur vin, ne se rencontrent que dans quelques variétés, et se résument à trois groupes : les composés monoterpéniques, 2-alkyl-3-méthoxypyrazines et la rotundone. Comme mentionné précédemment, à ce jour, la rotundone n'a été trouvée que dans des cépages rouges, mais rien ne peut exclure a priori sa présence dans certains cépages blancs.

Composés monoterpéniques

Ces composés comprennent essentiellement des composés au squelette acyclique (*9a, figure 2.2*), le linalol, le nérol, le géraniol, le hotriénol, le citronellol, et quelques composés au squelette cyclique (9b), dont l'α-terpinéol. Ils sont caractéristiques des variétés muscatées, et de quelques cépages alsaciens ou ibériques, comme le Gewürztraminer, l'Alvarinho ou le Loureiro, dont ils sont responsables des notes florales. D'autres monoterpènes, présentant les mêmes squelettes carbonés, mais de degrés d'oxydation supérieurs, polyols et acides, sont également présents dans ces cépages, mais ils sont inodores pour la plupart. Les monoterpénols odorants sont surtout contenus dans les parties solides des baies ; ainsi, les opérations œnologiques favorisant le contact du jus et des pellicules (macérations), ou celles déstructurant les parois cellulaires (enzymes, macération carbonique) permettent de mieux les extraire. La répartition pellicule/pulpe varie d'un cépage à l'autre, mais il faut aussi noter qu'au sein d'un même cépage, la répartition entre monoterpènes peut être différente entre la pulpe et la pellicule si bien que la macération pelliculaire peut fortement changer le profil aromatique des vins.

Dans les autres variétés, les monoterpénols di-oxygénés dominent, et sont présents principalement sous formes glycosylées. Certains de ces composés di-oxygénés, bien qu'inodores, peuvent être transformés dans les conditions d'acidité du moût et du vin en d'autres monoterpènes très odorants, tels que le cis-rose oxyde ou la « wine-lactone », participant notamment à la typicité aromatique des vins de Gewürztraminer.

2-alkyl-3-méthoxypyrazines

Les 2-alkyl-3-méthoxypyrazines (*10, figure 2.2*), hétérocycles aromatiques diazotés disubstitués, présentent des notes de poivron, d'aristoloche, de petit pois ou d'asperge. Identifiées initialement dans le Cabernet Sauvignon, leurs teneurs de quelques nanogrammes par litre (ng/L) sont de l'ordre de grandeur de leurs seuils de perception olfactive. Elles peuvent donc typer les raisins de ce cépage, et d'autres cépages, comme le Sauvignon blanc. Contrairement

25788_vins_blancs.indb 25 13-10-16 2:41 PM

aux monoterpénols, leurs notes olfactives végétales sont généralement jugées défavorablement dans les vins correspondants, et de plus, elles masquent les odeurs fruitées. La présence de 2-isobutyl-3-methoxypyrazine est plutôt un marqueur de raisins peu mûrs, et outre une maturation plus poussée, des conditions d'éclairement poussées des raisins (effeuillage) permettent de limiter au vignoble leur occurrence. En termes de procédés, ce sont ceux qui limitent leur extraction des parties des raisins qui en contiennent le plus, les pellicules, ou qui favorisent leur dégradation thermique qui devront être privilégiés, même si pour ces derniers le choix en vinification en blanc reste restreint.

Constituants volatils variétaux du vin formés à partir de précurseurs variétaux

Composés en C6

Ces composés, aux odeurs végétales et d'herbe coupée, sont formés dans le moût au stade préfermentaire, par l'action séquentielle de lipase, lipoxygénase, isomérase et alcool déshydrogénase de raisin, sur des précurseurs lipidiques à acides linoléïque (7a) et linolénique (7b), acides gras insaturés en C18 (*cf. figure 2.1*) (Crouzet *et al.*, 1998). À ce stade, ce sont les formes aldéhydiques, hexénals et hexanal, les plus odorantes, qui sont prépondérantes. Mais au stade fermentaire, ces formes sont majoritairement réduites par la levure en alcools, principalement en hexanol, peu odorant, et en hexénols, plus odorants que l'hexanol, mais très minoritaires. Ces alcools en C6 sont également présents dans le raisin sous formes glycoconjuguées, mais en faibles quantités par rapport aux formes précédentes, indiquant une voie de biosynthèse dans la baie intacte. Leurs odeurs herbacées dévalorisant généralement l'arôme du vin, l'œnologue essaiera de limiter leur formation, en limitant notamment la présence de feuilles dans la vendange, les triturations lors des opérations de transfert et les rebêches lors du pressurage.

Phénols volatils

Les composés majeurs de cette classe sont les 4-vinyl- et 4-éthyl-phénols et -gaïacols. Ils sont formés au cours de la fermentation, à partir d'acides phénols cinnamiques (8), précurseurs variétaux présents majoritairement dans les parties solides de la baie de raisin, presque entièrement sous leur forme d'esters d'acide tartrique (*cf. figure 2.1*). Cependant, la levure *Saccharomyces cerevisiae* ne dégrade que les formes acides libres de ces précurseurs, décarboxylés par sa cinnamate décarboxylase en dérivés vinyliques, vinylphénol et vinylgaïacol, à partir des acides coumarique (8a) et férulique (8b) respectivement. Les quantités formées dans les vins blancs sont plus importantes que dans les rouges, car cette décarboxylase est inhibée par des tannins catéchiques, présents à des teneurs plus élevées dans les moûts vinifiés en rouge (Chatonnet *et al.*, 1993). Ces dérivés, même dans les vins blancs, atteignent rarement des teneurs significatives dans le vin, d'autant qu'ils sont dégradés rapidement dans ce milieu, notamment par addition d'éthanol sur le groupe vinyle. L'œnologue doit toutefois éviter les conditions favorables en vinification à leur formation, comme l'utilisation de souches de levures *Saccharomyces cerevisiae* à forte activité cinnamate décarboxylase. En effet, ces dérivés vinyliques sont surtout responsables, dans les cas où leur influence devient perceptible, de masquage de notes fruitées ou même de défauts aromatiques qualifiés de goût phénolé, comme cela a été étudié dans des vins blancs bordelais, la marge entre leurs seuils de perception olfactive et leurs seuils limites

25788_vins_blancs.indb 26 13-10-11 12:23 PM

de préférence étant très étroite (Chatonnet *et al.*, 1993). Quant aux dérivés éthyliques, ils ne sont perceptibles que dans les vins contaminés par des levures du genre *Brettanomyces/ Dekkera*, qui, contrairement aux levures *Saccharomyces cerevisiae* ou aux bactéries lactiques œnologiques, possèdent une vinylphénol réductase, nécessaire à la réduction des dérivés vinyliques. Ces éthylphénols sont alors responsables de goût phénolé très marqué, mais restent plus importants dans les vins rouges du fait de l'élevage long pour certains en barriques où ces levures d'altérations peuvent être mal maîtrisées.

Composés volatils issus des glycoconjugués

Mis en évidence par Cordonnier et Bayonove(1974), les précurseurs glycosidiques, ou glycoconjugués ou glycosides, sont constitués d'une partie sucre liée par une liaison osidique à un composé volatil, l'aglycone, odorant ou non. La partie sucre des glycosides du raisin, peu variée, a permis leur classement en quatre groupes (*cf. figure 2.1*) : les β-D-glucopyranosides (1a), monoglucosides ne contenant que du glucose, et trois classes de diglycosides (1b, 1c, 1d) (Bayonove, 1998), avec un ose supplémentaire lié au glucose. Les glycosides sont contenus dans les parties solide et liquide de la baie, mais la répartition peut différer d'une variété à l'autre, la pellicule en contenant la plus grande partie (Bayonove, 1998).

La formation de composés odorants implique la libération par hydrolyse acido-catalysée d'aglycones odorantes dans le vin, les aglycones inodores pouvant subir des remaniements chimiques acido-catalysés pour conduire à des composés odorants. Ces transformations interviennent principalement au stade postfermentaire et sont lentes dans les conditions habituelles de vinification et de vieillissement des vins, à l'exception des glycosides de linalol pour lesquels elle atteint 50 % dès six mois de conservation. Ils conduisent à de très nombreux composés volatils, mais seulement une dizaine sont susceptibles d'atteindre dans le vin des cépages non muscatés des teneurs proches ou supérieures à leurs seuils de perception olfactive, les plus connus étant le linalol, le roseoxyde, le 1,8-cinéole, la « wine-lactone », l'eugénol, le gaïacol, la zingérone, le salicylate de méthyle, la β-damascénone, le 1,1,6-triméthyl-1,2-dihydronaphtalène (TDN), le (*E*)-1- (2,3,6-triméthylphényl) buta-1,3-diène (TPB).

Les glycosides du raisin peuvent être également hydrolysés plus rapidement par voie enzymatique, mais uniquement par addition de glycosidases exogènes appropriées, telles que des préparations enzymatiques glycosidasiques de champignons filamenteux (Crouzet et Flanzy, 1998), les enzymes correspondantes du raisin ou des micro-organismes de fermentation étant très peu actives en conditions œnologiques. Toutefois, mêmes les β-glucosidases exogènes sélectionnées sont inhibées par le glucose, ce qui limite leur utilisation aux vins secs.

Cependant, des études récentes remettent en cause l'hypothèse de l'action négligeable des levures et des bactéries lactiques dans la formation de composés d'arôme à partir des glycoconjugués, et notamment dans leur influence sensorielle globale sur le vin. En effet, bien que les composés odorants, formés à l'issue de la fermentation, soient à des teneurs très faibles, inférieures à leurs seuils de perception olfactive, leur nombre par classe de composés présentant des propriétés odorantes similaires est élevé. Ces composés pourraient donc exercer une action concertée pour avoir une influence significative sur l'arôme du vin, comme l'ont montré des études de reconstitution d'arôme (Loscos *et al.*, 2007 ; Hernandez-Orte *et al.*, 2008). Par ailleurs, ces auteurs suggèrent que les levures pourraient intervenir par leur métabolisme sur la formation de certains composés odorants issus des glycosides, mais non observées par la voie acido-catalysée seule. Cette action serait analogue à celle, connue, de la transformation du géraniol libre en citronellol.

25788_vins_blancs.indb 27 13-10-11 12:23 PM

Ainsi, les composés volatils issus des glycoconjugués sont très nombreux, et appartiennent aux principales classes de composés volatils du raisin : composés en C6, alcools supérieurs, phénols volatils, monoterpénols et C13-norisoprénoïdes. Néanmoins, seuls les monoterpénols et les C13-norisoprénoïdes atteignent des teneurs qui sont susceptibles de les rendre impactant sur l'arôme des vins. Comme les monoterpénols ont déjà été présentés, seul les C13-norisoprénoïdes seront détaillés ici.

Les C13-norisoprénoïdes identifiés dans le raisin sont principalement di- ou tri-oxygénés, et glycoconjugués comme rappelé par Bayonove (1998). Les C13-norisoprénoïdes sont formés dans la baie par dégradation oxydative des caroténoïdes, pigments accessoires de la photosynthèse dans la baie. Bien que très peu de seuils de détection olfactive d'aglycones C13-norisoprénoïdiques de raisin soient connus, aucun n'atteint une teneur nécessaire à son implication dans l'arôme du vin. Seuls des remaniements chimiques permettent d'obtenir des C13-norisoprénoïdes beaucoup plus odorants, comme la β-damascénone, le TDN, le TPB, le riesling acétal ou le vitispirane. Leurs caractéristiques organoleptiques et leurs seuils de perception souvent très bas en font des composés d'arôme particulièrement intéressants. Le cas β-damascénone est à mettre à part, puisqu'il a été démontré, dans le cas des vis rouges, qu'elle agissait plus comme un exhausteur du fruité que par ses propriétés odorantes propres. La démonstration dans le cas des vins blancs reste à faire, et les teneurs dans lesquelles elle joue ce rôle doivent être également établies le cas échéant.

Composés soufrés variétaux

Les thiols variétaux et particulièrement la 4-mercapto-4-methylpentan-2-one (4MMP), l'acétate de 3-mercaptohexyle (3MHA) et le 3-mercaptohexan-1-ol (3MH) ont été identifiés comme composés clés de l'arôme des vins jeunes issus de différents cépages.

Leur contribution à l'arôme des vins a été mise en évidence par Du Plessis et Augustyn (1981). La 4MMP a été ensuite identifiée formellement pour la première fois dans les vins de Sauvignon blanc puis dans d'autres cépages comme le Scheurebe, le Maccabeo, les Gewürztraminer, Riesling, Muscat, Colombard, Petit Manseng et Tokay, même si ce n'est que dans le premier que ces notes olfactives caractéristiques sont systématiquement perceptibles.

Le 3MH et le 3MHA sont plus ubiquistes que la 4MMP puisqu'on les retrouve dans un grand nombre de vins de cépage comme le Sauvignon blanc, la Petite Arvine, les Petit et Gros Manseng, le Melon B., le Bacchus, le Sémillon mais aussi dans des cépages rouges comme le Grenache, le Merlot et le Cabernet Sauvignon et dans les vins rosés de Provence.

La 4MMP rappelle le buis et le bourgeon de cassis et est présente à des concentrations souvent inférieures à 70 ng/L, pour un seuil de détection olfactive de 0,8 ng/L en solution hydroalcoolique. Les 3MH et 3MHA, qui sont plus abondants, confèrent aux vins blancs et rosés les notes fruitées tant recherchées de fruit de la passion et pamplemousse avec des seuils de perception olfactive proches de 60 et 4 ng/L respectivement (Tominaga *et al.*, 2000). Il a par ailleurs été démontré dans les Sauvignon de Nouvelle-Zélande que les teneurs en 3MH et 3MHA peuvent permettre de prédire le caractère « fruit tropical » des vins (Lund *et al.*, 2009).

La 4MMP, le 3MH et le 3MHA sont des arômes variétaux dans la mesure où ils proviennent essentiellement du clivage, au cours de la fermentation, de précurseurs inodores présents dans les raisins et les moûts. Trois voies biogénétiques sont maintenant admises qui participent à la formation de la 4MMP et du 3MH dans les vins (*figure 2.3*). La formation du 3MHA est, quant à elle, particulière puisqu'elle consiste en l'acétylation par la levure du 3MH (Swiegers et Pretorius, 2007).

25788_vins_blancs.indb 28 13-10-11 12:23 PM

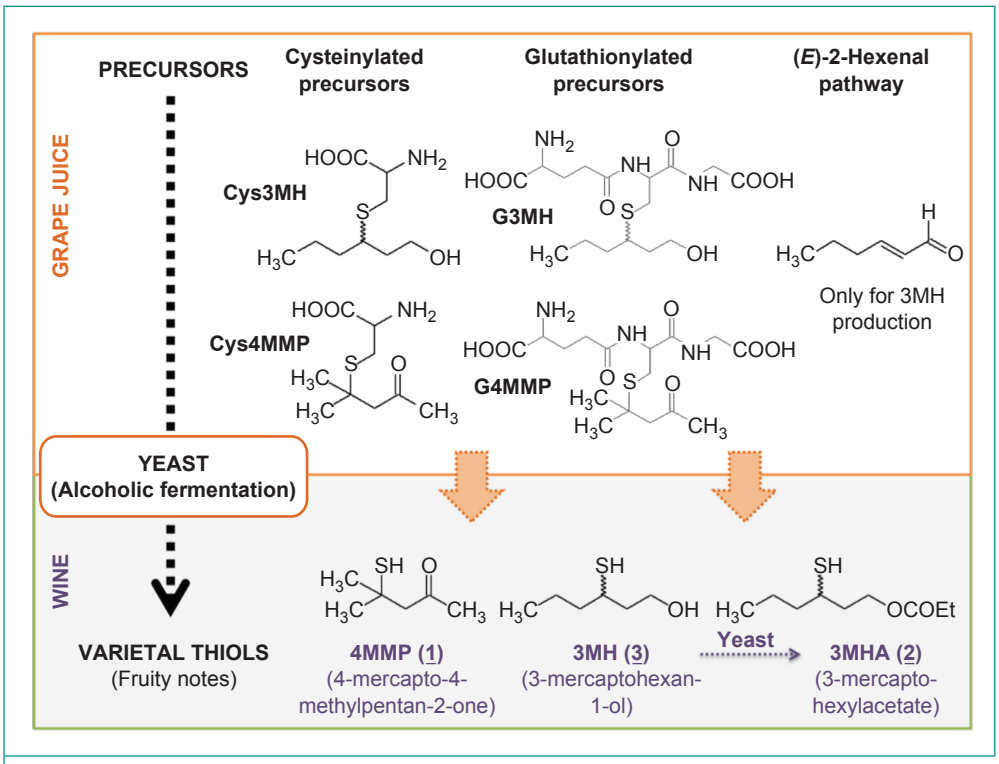


Figure 2.3: Les voies de biogenèse des thiols variétaux dans les vins

La première voie implique les précurseurs cystéinylés qui ont été identifiés pour la première fois dans les raisins de Sauvignon blanc (Tominaga *et al.*, 1995 ; Tominaga *et al.*, 1998). Ces S-conjugués à la cystéine sont clivés par la levure à l'aide de l'activité β-lyase durant les premiers jours de la fermentation alcoolique. La S-3-(hexan-1-ol)-cystéine (Cys3MH) est plus ubiquiste et abondante que la S-3-(4-mercapto-4-methylpentan-2-one)-cystéine (Cys4MMP), ce qui est cohérent par rapport aux proportions relatives des thiols correspondants.

La deuxième voie concerne les précurseurs glutathionylés : le S-3-(hexan-1-ol)-glutathion (G3MH), identifié de manière tentative dans les raisins de Sauvignon blanc (Peyrot des Gachons *et al.*, 2002), puis formellement dans divers cépages (Roland *et al.*, 2010), et le S-3-(4-mercapto-4-méthylpentan-2-one)-glutathion (G4MMP), identifié dans le Sauvignon blanc (Fedrizzi *et al.*, 2009), puis dans d'autres variétés (Roland *et al.*, 2010). Différents travaux sur milieux modèles (Grant-Preece *et al.*, 2010 ; Kobayashi *et al.*, 2010) ou sur moût de Sauvignon blanc. Des données de la littérature semblent montrer qu'ils peuvent être à la fois des précurseurs directs, mais également des pro-précurseurs, se transformant en dérivés cystéinylés sous l'action d'enzymes, notamment lors du transport de la vendange (Capone *et al.*, 2011).

Pour finir, une dernière voie de biogenèse a été mise en évidence par le passé, qui implique les composés en C6 insaturés comme le (*E*)-2-hexènal qui subissent l'addition d'un groupement sulfhydryle pendant la fermentation alcoolique (Schneider *et al.*, 2006). Cependant, le donneur de soufre n'a pas encore été identifié : il pourrait s'agir de composés comme l'H_2S, la cystéine, le glutathion ou d'autres composés possédant une fonction thiol libre dans les moûts. Notons qu'une étude récente montre que le (*E*)-2-hexènol peut aussi être considéré comme précurseurs

25788_vins_blancs.indb 29 13-10-11 12:23 PM

du 3MH dans les moûts, *via* l'action de l'alcool déshydrogénase (Harsch *et al.*, 2013). L'évolution à la vigne des précurseurs de thiols a été assez peu étudiée, du fait de la difficulté de leur analyse. Les quelques résultats disponibles concernent les effets de la maturité des raisins, le site d'implantation de la vigne (terroir), la contrainte hydrique et la fertilisation azotée.

La contrainte hydrique présente en outre un effet sur les précurseurs cystéinylés et dans ce contexte, les teneurs en Cys3MH s'avèrent proportionnelles au stress hydrique (en région bordelaise) alors que la Cys4MMP a un comportement inverse (Choné, 2001). Ce même auteur signale un lien entre la fertilisation azotée au sol et la teneur en précurseurs (et en glutathion) tandis que le niveau de polyphénols diminue, ce qui concourt à la production de vins plus riches en thiols (Choné *et al.*, 2006). De manière similaire, la pulvérisation d'azote foliaire après véraison augmente la teneur en thiols des vins sans augmenter la vigueur et l'attaque des baies par *Botrytis cinerea* comme cela peut être le cas quand l'amendement azoté au sol est mal maîtrisé (Lacroux *et al.*, 2008). Cette augmentation des thiols semble toutefois plus due à l'effet en fermentation de l'augmentation de l'azote assimilable induite, qu'à l'augmentation directe des teneurs en précurseurs.

L'élaboration des moûts constitue une étape clé dans le procédé de vinification des vins blancs et rosés. À ce stade de la vinification, les thiols variétaux sont présents à l'état de S-conjugués et ne sont donc pas oxydables, au vu de la stabilité dans les conditions œnologiques de la liaison thioéther. De manière cohérente, Roland *et al.* ont montré que les teneurs en précurseurs cystéinylés du 3MH et de la 4MMP, ainsi que la G4MMP, étaient stables durant des expérimentations d'oxydation contrôlée de moûts de Sauvignon et de Melon (Roland *et al.*, 2010) alors que celles du G3MH augmentaient. Cette formation pourrait être la conséquence de l'addition du glutathion sur le (E)-2-hexènal, produit d'oxydation enzymatique des lipides insaturés du raisin. Cette réaction pourrait expliquer la formation de G3MH lors des opérations préfermentaires. D'autres techniques préfermentaires comme la macération permettent aussi d'augmenter les teneurs en thiols des vins. La localisation des précurseurs de thiols dans la baie, préférentiellement dans la pellicule, explique les gains en précurseurs à l'issue de la macération pelliculaire qui ont été observés par plusieurs auteurs (Murat *et al.*, 2001 ; Peyrot des Gachons *et al*, 2002 ; Maggu *et al.*, 2007 ; Roland *et al.*, 2010).

Les thiols variétaux sont libérés lors des tout premiers jours de la fermentation alcoolique par *Saccharomyces cerevisiae* grâce à son activité β-lyase. Ainsi, le choix de la souche de levure est un facteur majeur de réussite dans la production de vins type thiols. De nombreuses levures commerciales sont disponibles qui ont montré leur capacité à révéler des thiols. Il est cependant hasardeux de vouloir les classer par ordre de performance puisqu'une étude récente a montré que l'origine du moût, et donc sa composition, était le facteur le plus important de différenciation des vins (Schneider, communication personnelle). D'autre part, il faut signaler que la combinaison de souches peut être un moyen efficace d'augmenter la production de 3MH et de 3MHA (King *et al.*, 2008). Des études récentes ont par ailleurs mis en évidence l'intérêt de souches non-*Saccharomyces* comme *Pichia kluyveri* (Anfang *et al.*, 2009) ou d'hybrides interspécifiques comme ceux issus du croisement *S. cerevisiae x S. bayanus* var. *varum* (Masneuf *et al.*, 2002 ; Dubourdieu *et al.*, 2006). Néanmoins, gardons en mémoire que, dans tous les cas, les rendements de conversions par la ou les levures ne dépassent pas 10 % en œnologie.

Peu d'études en revanche ont porté sur la problématique du transport des précurseurs de thiols dans la cellule levurienne, étape pourtant requise pour leur clivage. Le transporteur général des acides aminés a été identifié comme un des transporteurs des précurseurs cystéinylés en milieu modèle (Subileau *et al.*, 2008), transporteur dont la synthèse est réprimée par un excès d'ammonium (Nitrogen Catabolic Repression). Ainsi, la nature et le moment d'ajout des nutriments azotés en fermentation doivent être contrôlés pour permettre une meilleure

25788_vins_blancs.indb 30 13-10-11 12:23 PM

production de thiols dans les vins. La température de fermentation est aussi un facteur essentiel qui influe sur la production des thiols. Une fermentation à 20 °C apparaît plus favorable à cette production qu'à 13 °C (Masneuf-Pomarede *et al.*, 2006) mais cette observation semble cependant dépendante de la souche de levure considérée.

Après fermentation alcoolique, les thiols sont sous forme libre, et, de ce fait, chimiquement instables puisqu'ils sont facilement oxydables ou réagissent aisément avec d'autres composés du vin par addition nucléophile. Toute dissolution d'oxygène à partir de ce moment doit être parfaitement contrôlée, et, d'une manière générale, évitée. À l'embouteillage par exemple, l'oxygène présent dans l'espace de tête ainsi que par la suite le taux de transfert d'oxygène (OTR) des obturateurs peut induire des pertes aromatiques conséquentes sur une période de stockage de vingt-quatre mois seulement (Lopes *et al.*, 2005 ; Lopes *et al.*, 2006 ; Lopes et Silva *et al.*, 2009). Selon le type de vins, l'oxygène peut être préjudiciable à la qualité aromatique des produits puisque, à côté du brunissement des vins qu'il induit, il peut provoquer la diminution des thiols variétaux (Skouroumounis *et al.*, 2005). Les mécanismes sous-jacents impliquent la formation d'adduits entre les thiols, molécules électrophiles, et certains composés phénoliques (Nikolantonaki *et al.*, 2010). Ainsi, la présence de (+)-catéchine et de (–)-épicatéchine avec du Fe(III) catalyse leur oxydation en quinones qui s'additionnent sur les thiols. Cependant, l'absence d'oxygène à l'embouteillage peut également être la cause de l'apparition de défauts de réduction importants et un compromis doit donc être trouvé selon le type de vin et sa « durée de vie ». Le vieillissement sur lies avant embouteillage, la présence constante de SO_2 libre, de glutathion, sont autant de facteurs permettant une meilleure tenue des vins d'un point de vue aromatique.

Sulfure de diméthyle

Le sulfure de diméthyle (DMS) est un composé soufré léger mis en évidence dans le vin par Du Plessis et Loubster(1974) , dans lequel son seuil de perception olfactive est de l'ordre de 25 µg/L (Etiévant, 1991). Ses teneurs dans les vins jeunes sont le plus souvent inférieures à ce seuil, mais elles peuvent atteindre 900 µg/L dans des vins évolués (Dagan, 2006). Les données récentes démontrent qu'il est le plus souvent perçu positivement, mais sa contribution à l'arôme des vins est complexe. À teneurs élevées dans les vins très évolués, notamment ceux issus de raisins blancs en vendanges tardives, il apporte des notes de truffe. À des teneurs plus faibles, il contribue aux notes fruitées des vins rouges, notamment par un effet exhausteur (Anocibar Beloqui, 1998 ; Ségurel *et al.*, 2004).

Le DMS variétal est produit au stade fermentaire à partir de S-méthylméthionine (SMM) (5) et de diméthylsulfoxyde (DMSO) (6) du raisin, mais uniquement à partir de SMM au stade post-fermentaire (*cf. figure 2.1*) (Ségurel *et al.*, 2004). Toutefois, les teneurs en DMSO des moûts de raisin sont beaucoup plus faibles que celles de SMM, qui semble donc la source principale de DMS variétal (Ségurel *et al.*, 2004 ; Ségurel *et al.*, 2005).

Au cours des stades fermentaires, la levure *Saccharomyces cerevisiae* est capable de réduire le DMSO en DMS, et certaines souches de levure et de bactéries lactiques sont susceptibles d'utiliser la SMM comme source de soufre. Cependant, du fait de sa grande volatilité (pression saturante de vapeur de 53 KPa à 20 °C), le DMS variétal produit par la levure est en grande partie éliminé par le gaz carbonique produit par la fermentation alcoolique, et, de ce fait, les teneurs en DMS rencontrées dans les vins, juste après la mise en bouteille, sont généralement très faibles.

En revanche, les teneurs en DMS variétal postfermentaire augmentent avec le temps et la température au cours du vieillissement en bouteille, jusqu'à atteindre des teneurs de l'ordre du milligramme par litre (mg/L), et ce DMS n'est produit qu'à partir de la SMM par une réaction purement chimique (Marais, 1979 ; Anocibar Beloqui, 1998).

25788_vins_blancs.indb 31 13-10-11 12:23 PM

Ainsi, la fermentation, par la sélection de conditions appropriées (souche de levure, paramètres de conduite de la fermentation), apparaît comme une voie de maîtrise possible du taux de transfert de SMM du raisin au vin, et donc de la formation du DMS variétal postfermentaire.

Constituants volatils fermentaires du vin

Alcools supérieurs, acides gras ramifiés

Ces constituants fermentaires proviennent du métabolisme des acides aminés par la levure selon deux voies, catabolique selon la voie d'Ehrlich, et anabolique *via* le catabolisme des sucres, aboutissant à la formation soit d'alcools supérieurs, soit d'acides gras ramifiés (Bayonove, 1998).

Pour les alcools supérieurs, en général, les conditions qui diminuent la vitesse de fermentation défavorisent leur formation (Etiévant, 1991) : une température de fermentation basse et un pH faible du moût sont susceptibles d'induire une diminution de la teneur en alcools supérieurs, en particulier de l'isobutanol, de l'alcool isoamylique et du 2-phényléthanol. Quant à l'influence des teneurs en acides aminés du moût, certains ont rapporté une diminution des teneurs en alcools supérieurs formés avec un déficit en acides aminés, d'autres ont rapporté l'inverse. Des travaux récents de suivi en ligne des composés volatils au cours de la fermentation ont permis cependant de montrer qu'une teneur aux alentours de 250 mg/L semblait optimale pour la biosynthèse des alcools supérieurs (Mouret, communication personnelle). La contribution aromatique des alcools supérieurs est généralement limitée, et considérée comme peu favorable à l'exception de celle du 2-phényléthanol à l'odeur de rose. Il est ainsi communément admis que la qualité de l'arôme du vin augmente avec le rapport esters/alcools supérieurs : ce critère est notamment un indicateur pris en compte pour juger de la qualité des vins de distillation.

Les acides gras ramifiés, quant à eux, possèdent des odeurs désagréables, mais, aux teneurs rencontrés généralement dans les vins, seuls les acides 2-méthylbutanoïque et 3-méthylbutanoïque pourraient être perceptibles (Etiévant, 1991).

Acides gras linéaires

Ces composés fermentaires, formés par la levure en quantités beaucoup plus fortes que les acides gras ramifiés ci-dessus, sont associés au métabolisme des lipides. Les plus abondants, de structure linéaire à nombre pair d'atomes de carbone, sont formés par la levure selon deux voies possibles, catabolique et anabolique. La première est utilisée en début de fermentation par la levure, surtout en phase de multiplication cellulaire, et nécessite la présence d'oxygène pour la dégradation par β-oxydation des acides gras du raisin. Les facteurs qui favorisent la formation de biomasse favorisent la formation des acides gras en début de fermentation. Dans la seconde voie, les acides gras sont formés successivement par ajout de deux atomes de carbone provenant du malonyl~SCoA sur un acyl~SCoA, l'acétyl~SCoA.

Ils présentent, comme les acides gras ramifiés des odeurs désagréables de fromage et de sueur, mais seul l'acide acétique, à l'odeur différente d'ailleurs, et de loin le plus abondant, a des teneurs dans le vin supérieures à son seuil de perception olfactive.

25788_vins_blancs.indb 32 13-10-11 12:23 PM

Esters

Les esters fermentaires sont classés principalement en trois groupes. Le premier comprend les esters éthyliques des acides gras linéaires, associés au métabolisme des lipides. Les deux autres sont associés au métabolisme azoté, et rassemblent, d'une part, les acétates d'alcools supérieurs, d'autre part, les esters éthyliques d'acides gras ramifiés. Biogénétiquement, ils dérivent tous de l'action d'eau, d'éthanol et d'alcools supérieurs sur les acyls~ScoA correspondants, catalysée par des estérases de la levure. Ainsi, l'acétylation des alcools supérieurs par l'acétyl~SCoA est catalysée par un groupe d'enzymes, les alcool-acétyltransférases. Le même système enzymatique, ou un mécanisme de régulation commun, serait impliqué dans la synthèse des esters éthyliques des acides gras linéaires et ramifiés.

Les conditions de fermentation qui favorisent la formation de teneurs élevées en esters d'acides gras linéaires sont l'absence d'oxygène, la clarification du moût, et la température, à maintenir autour de 15 °C à 18 °C. De même, les conditions anaérobies sont les plus favorables à la formation des acétates d'alcools supérieurs en stimulant les alcool-acétyltransférases. Cependant, il faut noter que des fortes teneurs en alcools supérieurs entraîneraient également une augmentation de leurs acétates. Notons en outre que les conditions aérobies sont favorables à la formation des acides gras ramifiés, et le seraient donc aussi pour leur ester éthylique. Toutefois, les teneurs en ces esters sont très faibles dans les vins jeunes.

L'approche cinétique de leur biosynthèse par le suivi en ligne des composés volatils a, en outre, permis de constater que les teneurs en esters éthyliques comme en acétates augmentaient de manière presque linéaire avec la teneur en azote assimilable du moût. Par ailleurs, les plus fortes teneurs en esters constatées dans les fermentations à basse température étaient, pour les composés les plus volatils, plus à relier à leur moindre volatilité à basse température qu'à une régulation du métabolisme de la levure (Morakul *et al.*, 2013).

Parmi les acétates, l'acétate d'éthyle est bien entendu le plus abondant, vu les fortes concentrations en éthanol et en acide acétique dans les vins. Malgré leurs réputations négatives liées au vinaigre et au piqué, acide acétique et acétate d'éthyle semblent contribuer positivement à l'arôme du vin pour des teneurs optimales variables selon les vins, mais avec des valeurs limites voisines de 600 mg/L pour le premier et 100 mg/L pour le second. La plupart des autres esters possèdent des odeurs agréables qui contribuent aux notes fruitées de l'arôme des vins jeunes. Cette contribution est modulée par le type de vin et les proportions relatives des esters, qui donnent lieu à des effets complexes de synergie et de masquage.

En ce qui concerne leurs teneurs dans le vin jeune et leurs évolutions chimiques au cours de la conservation, les acétates d'alcools supérieurs et les esters éthyliques d'acides gras linéaires se différencient des esters éthyliques d'acides gras ramifiés. En effet, les premiers sont formés dans le vin jeune à des teneurs importantes (quelques centaines de µg/L à quelques mg/L), avec des rapports esters/acides supérieurs à ceux de leur équilibre chimique (estérification/hydrolyse), et, de ce fait, ces esters vont s'hydrolyser au cours de la conservation, les acétates plus rapidement que les esters éthyliques. En revanche, les esters éthyliques d'acides gras ramifiés sont formés par la levure dans le vin jeune à des teneurs faibles (rarement supérieures à une dizaine de µg/L), inférieures à celles correspondant à l'équilibre chimique estérification/hydrolyse. Ainsi, les acides gras ramifiés résiduels vont être estérifiés chimiquement par l'alcool majoritaire du vin, l'éthanol, pour former leurs esters éthyliques (Diaz-Maroto *et al.*, 2005). Le premier groupe d'esters exerce principalement son influence favorable sur l'arôme des vins jeunes, alors que les esters éthyliques d'acides gras ramifiés compensent en partie la perte d'influence des premiers au cours de la conservation, entraînant des modifications dans les notes fruitées perçues.

25788_vins_blancs.indb 33 13-10-11 12:23 PM

Composés soufrés fermentaires

Ces composés soufrés volatils sont formés en faibles quantités par la levure au cours de la fermentation, mais ces teneurs augmentent généralement dans le cas d'élevage sur lies. Ils sont associés aux métabolismes du soufre et de l'azote, qui font intervenir des formes minérales oxydées du soufre (sulfate, sulfite), réduites en sulfure par la séquence de réduction des sulfates, et des formes organiques, les acides aminés soufrés, tels que la cystéine, la méthionine, la S-adénosylméthionine, le glutathion et certains de leurs dérivés. Ils sont classés en deux groupes, les composés soufrés « légers » et « lourds », selon leurs poids moléculaires et leurs points d'ébullition. L'hydrogène sulfuré, le sulfure de carbonyle, le disulfure de carbone, les méthyl- et éthyl-mercaptans, leurs thioacétates, sulfures et disulfures font partie du premier groupe. Dans le second, on trouve surtout le 2-mercaptoéthanol et son dérivé méthylé, le 2-méthylthioéthanol, le 3-méthylthiopropanol, son acétate et ses formes oxydées aldéhydique, acide et ester éthylique correspondants, le 4-méthylthiobutanal, le 4-méthylthiobutan-2-ol, ainsi que des hétérocycles soufrés, 2-méthylthiophan-3-ol et 2-méthylthiophène.

Ces composés odorants sont trouvés normalement dans le vin à des teneurs inférieures à leur seuil de perception olfactive, et des teneurs supérieures sont souvent corrélées à des défauts d'arôme, en particulier celui de « goût de réduit ».

Constituants volatils postfermentaires

La majorité des vins blancs sont des vins destinés à être bus rapidement, et cette tendance est renforcée par l'évolution des marchés. Cependant, un certain nombre de vins blancs, parmi ceux notamment qui font la renommée des vignobles de « l'Ancien Monde » sont vinifiés dans un objectif de vieillissement, au cours duquel ils acquièrent des spécificités aromatiques recherchées. Nous avons vu dans les paragraphes précédents que les composés formés au cours des étapes précédent l'élevage et le vieillissement des vins étaient susceptibles d'évoluer ensuite, le vin étant un milieu hydroalcoolique acide favorable à un certain nombre de réactions.

On assiste ainsi à des dégradations de nombreux composés, essentiellement dues à des réactions d'hydrolyse. C'est notamment le cas des esters éthyliques d'acides gras linéaires et des acétates d'alcools supérieurs. Mais c'est aussi le cas des précurseurs glycosylés, et la réaction d'hydrolyse dans ce cas libère des composés odorants qui jusque-là n'étaient pas volatils. La formation du DMS, issue du clivage de la S-méthylméthionine dans les vins est dans ce même registre. On assiste à la diminution des teneurs des composés fermentaires au profit de composés variétaux issus de précurseurs. Comme expliqué précédemment, ces derniers, qu'ils soient déjà présents sous formes libres ou qu'ils soient libérés au cours du stockage, vont en outre subir des transformations chimiques acido-catalysés qui peuvent profondément changer la composition en composés volatils et donc le profil des vins.

Comme mentionné dans les paragraphes précédents, l'équilibre redox du vin dans les étapes postfermentaires est également important vis-à-vis notamment des composés soufrés de type thiol. Ces derniers, que leur impact sur l'arôme soit positif ou négatif, sont très réactifs, et deux voies d'évolution semblent coexister, avec des proportions différentes selon les composés :

- équilibre d'oxydoréduction entre les formes thiol et les formes disulfures (réaction réversible) ;
- addition sur des composés de type quinone issues de l'oxydation des ortho-diphénols dans les vins (réaction irréversible).

25788_vins_blancs.indb 34 13-10-11 12:23 PM

L'équilibre initial du vin et l'évolution du potentiel redox, dans le cas de la première réaction, vont ainsi déterminer les teneurs respectives en thiols et disulfures, sachant que d'une manière générale, la formation des disulfures entraîne une perte aromatique (positive ou négative) due aux seuils de perception plus forts de ces derniers.

La seconde réaction dépend, elle, plus de la teneur en polyphénols oxydables dans les vins, de celle cuivre et de fer, mais surtout d'antioxydant comme le SO_2, l'acide ascorbique en évaluant les risques associés et éventuellement de glutathion natif ou ajouté (même si cette pratique n'est pas encore autorisée).

La complexité des réactions met en lumière le difficile pilotage des conditions d'embouteillage (oxygène dissout et OTR des obturateurs) et pourrait être l'explication de certains défauts de réduction qui apparaissent avec l'utilisation d'obturateurs très peu imperméables à l'oxygène.

Si les réactions d'oxydation sont généralement peu désirées vu leur impact sur l'évolution de l'arôme des vins (*cf.* p. 226), dans certains types de vin, elles sont au contraire favorisées. C'est le cas notamment des vins jaunes et autres vins du même type élevés sous voile de levure (certains Xéres en Espagne, Vernaccia di Oristano en Italie, certains Tokaji en Hongrie) mais aussi d'autres vins fortifiés élevés en conditions oxydatives drastiques (fût en vidange par exemple). Durant ces élevages, les teneurs en aldéhydes augmentent fortement soit par oxydation couplée des alcools correspondant en présence d'oxygène et de di ou trihydroxy-phénols comme rappelé par Cheynier *et al.* (2010), soit par leur biosynthèse sous l'action des levures de voiles, au métabolisme oxydatif remarquable. Dans ces situations, l'acétaldéhyde est bien sûr l'aldéhyde formé majoritairement et il dépasse souvent son seuil de perception, contribuant à la complexité aromatique de vins comme les Fino ou les vins jaunes du Jura. D'autres composés se forment aussi par acétalisation entre les aldéhydes présents et les alcools ou polyols comme le glycérol. Les acétals ainsi formés contribuent cependant rarement à l'arôme des vins du fait de leur seuil de perception élevé, à l'exception du 1,1-diéthoxyethane provenant de la réaction entre acétaldéhyde et éthanol.

Par ailleurs, des lactones se forment également lors de ces processus, et notamment le sotolon. Le mécanisme de réaction est décrit dans la partie vieillissement prématuré (*cf.* p. 226), tant sa formation est problématique dans la plupart des vins blancs secs. Dans le cas des vins jaunes, les substrats sont formés par les levures de voile : acide α-cétobutyrique provenant de la métabolisation de la thréonine et acétaldéhyde (Pham *et al.*, 1996 ; Guichard *et al.*, 1997). Le sotolon formé confère aux vins de type vin jaune des notes de noix verte, voire de curry, alors qu'il est plutôt décrit par des notes de rancio dans le cas des vins doux naturels.

Quant à l'apport du bois lors de la vinification l'élevage en fût de chêne, il est traité à part dans la partie correspondante.

25788_vins_blancs.indb 35 13-10-11 12:23 PM

6 Polyphénols

Les composés phénoliques, métabolites secondaires synthétisés par les plantes pour des fonctions de défense et de dissémination, présentent une large diversité de structures, depuis des molécules relativement simples jusqu'à des polymères complexes. Quoique moins abondants que dans les vins rouges, dont ils constituent les pigments et les tanins, les composés phénoliques sont des composés importants pour la qualité des vins blancs, impliqués dans les phénomènes de brunissement oxydatif et certaines propriétés gustatives telles que l'astringence et l'amertume.

La composition phénolique des vins dépend de celle de la matière première utilisée, liée à des facteurs variétaux et aux conditions de culture, et du mode de vinification, qui influe sur le transfert des composés phénoliques vers le produit fini et leurs réactions. Les principaux composés phénoliques du raisin sont les flavanols, les acides hydroxycinnamiques et, dans les cépages colorés, les anthocyanes qui sont des pigments rouges. Tous ces composés sont plus ou moins facilement extraits selon leur solubilité et leur localisation au sein de la baie. Par exemple, les anthocyanes sont localisées dans les pellicules, de sorte que les vins blancs peuvent être obtenus à partir de cépages rouges, à condition d'éviter toute macération des parties solides lors de la vinification. Après extraction, les composés phénoliques subissent diverses transformations structurales liées à leur réactivité chimique intrinsèque et aux activités enzymatiques libérées simultanément. Ces réactions démarrent dès la rupture de l'intégrité cellulaire du matériel végétal (égrappage, foulage, pressurage, vendange mécanique) et se poursuivent tout au long de la fermentation et de la conservation des produits, conduisant à une grande diversité de produits qui peuvent aussi impacter la qualité des vins. Enfin, les composés phénoliques des vins comprennent également des métabolites microbiens (*e.g.* tyrosol) ainsi que des composés exogènes, apportés par le vieillissement en fût ou l'addition de tanins œnologiques.

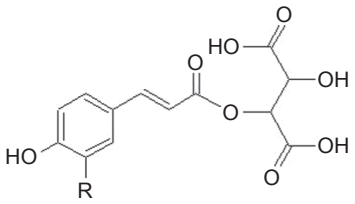
Composés phénoliques du raisin et leur extraction au cours de l'élaboration des moûts

Les composés phénoliques des vins blancs issus de pressurage direct sont principalement ceux de la pulpe de raisin : acides hydroxycinnamiques et flavanols.

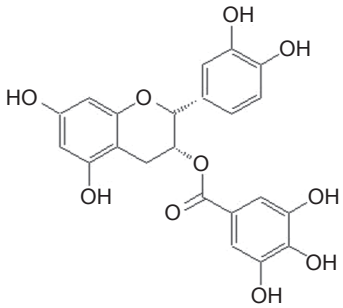
Acides hydroxycinnamiques

Les acides hydroxycinnamiques du raisin, présents dans les pulpes et les pellicules, sont les acides caféoyltartrique (caftarique), p-coumaroyltartrique (coutarique) et féruloyltartrique (fertarique) (Singleton *et al.*, 1978), esters tartriques des acides caféique, p-coumarique et ferulique (*cf. figure 2.4*). Leurs concentrations sont des caractéristiques variétales, certains cépages, comme le Grenache, étant particulièrement riches.

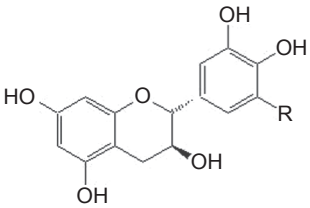
25788_vins_blancs.indb 36 13-10-11 12:23 PM



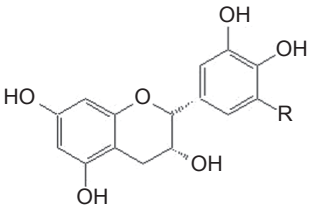
R = H : acide *trans p*-coutarique
R = OH : acide *trans* caftarique
R = OCH3 : acide *trans* fertarique



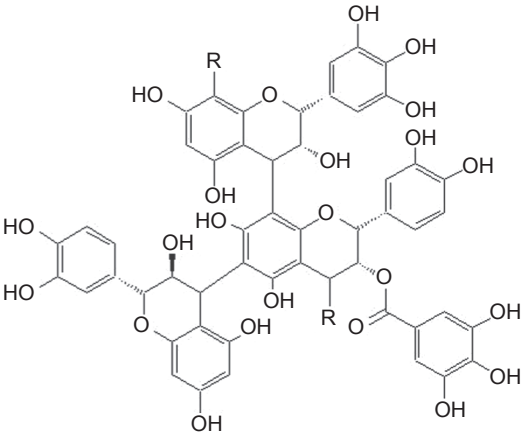
épicatéchine 3-O-gallate



R = H : catéchine
R = OH : gallocatéchine



R = H : épicatéchine
R = OH : épigallocatéchine



Proanthocyanidine
(R=H, flavanol)

Figure 2.4 : Structure des principaux composés phénoliques

Flavanols

Les flavanols (*cf. figure 2.4*) comprennent des monomères (catéchines) et des oligomères et polymères (tanins condensés ou proanthocyanidines). Les espèces polymériques, caractérisées par leur degré de polymérisation (nombre d'unités par chaîne ou DP) sont largement prédominantes dans le raisin. Cependant, leur importance n'a été (re)découverte que récemment avec le développement de nouvelles méthodes d'analyse. Les principaux monomères sont la catéchine et l'épicatéchine, et l'ester de l'acide gallique et de l'épicatéchine (épicatéchine 3-O-gallate). La gallocatéchine, l'épigallocatéchine et l'épigallocatéchine 3-O-gallate sont présentes à l'état

25788_vins_blancs.indb 37 13-10-11 12:23 PM

de trace. Toutes ces molécules participent à la composition des oligomères et polymères, désignés par le terme proanthocyanidines qui fait référence à la capacité de ces molécules à libérer des anthocyanidines (forme aglycone des anthocyanes, colorée en rouge) par chauffage en milieu acide. Les tanins de pépins sont uniquement constitués d'épicatéchine, catéchine et épicatéchine gallate et sont donc des procyanidines (libérant de la cyanidine) partiellement galloylées (Prieur *et al.*, 1993). Les unités majoritaires dans les tanins de pellicule (Souquet *et al.,* 1996) et de pulpe (Mané *et al.*, 2007) sont l'épicatéchine et l'épigallocatéchine. Les degrés de polymérisation moyens des tanins de pépins sont de l'ordre de 10 tandis que ceux des pellicules et des pulpes sont voisins de 30. La majorité des proanthocyanidines de la baie sont localisées dans les pépins et les pellicules. La contribution des pulpes est plus faible mais les teneurs en flavanols y sont similaires à celles des acides hydroxycinnamiques (Mané *et al.*, 2007).

Transfert vers les moûts

Le transfert des composés phénoliques du raisin vers le moût est déterminé par leur distribution tissulaire, leur solubilité et le temps de contact des tissus avec le moût. Les acides hydroxycinnamiques de la pulpe diffusent facilement vers le moût tandis que les flavanols présents en quantités équivalentes sont peu extraits, probablement du fait d'une forte adsorption sur les parties solides et les bourbes. Une macération des parties solides peut conduire à un enrichissement en acides hydroxycinnamiques et en flavanols (Cheynier *et al.*, 1989) mais aussi à une extraction d'autres composés phénoliques tels que les flavonols (sous forme de glycosides), les dihydroflavonols (sous forme de rhamnosides) et les stilbènes représentés par le resvératol et ses dérivés (picéatannol, glycosides tels que le picéide, les oligomères, *e.g.* viniferines, ampélopsines), à partir des pellicules, et éventuellement des pépins, des rafles ou des feuilles.

De telles macérations peuvent être pratiquées de manière intentionnelle, afin de favoriser l'extraction de certains précurseurs des composés d'arômes à partir des pellicules ou d'apporter certains caractères gustatifs. Cependant, elles sont aussi fréquemment subies, par exemple du fait du temps d'acheminement de la vendange récoltée mécaniquement jusqu'au pressoir. Des opérations telles que l'addition de sulfite à la récolte ou les pressurages intenses augmentent aussi l'extraction des composés phénoliques.

Composés phénoliques exogènes

Le vieillissement en fût apporte des composés phénoliques provenant du bois, notamment divers composés volatils, guaïacol et ses dérivés, eugénol, aldéhydes (vanilline, syringaldéhyde, furfural et ses dérivés) et des tanins hydrolysables (ellagitannins entre autres). Cette contribution dépend de l'origine du bois et des conditions d'élaboration des fûts (séchage, brûlage). Divers types de tanins peuvent également être apportés par l'addition de tanins œnologiques : tanins galliques, constitués de polyesters d'acide gallique sur un sucre (glucose pour les extraits de noix de galle ou acide quinique dans le cas des extraits de tara[3]), tanins ellagiques extraits de bois de chêne ou de châtaignier, proanthocyanidines extraites de pépins ou de marc de raisin, 5-deoxyproanthocyanidines extraites de quebracho.

3. Tara : arbuste exotique *Caesalpinia spinosa*, dont les gousses sont utilisées comme source de tannins.

25788_vins_blancs.indb 38 13-10-11 12:23 PM

Évolution des composés phénoliques dans les moûts

Oxydation enzymatique

La première réaction impliquant les composés phénoliques est l'oxydation enzymatique, catalysée par la polyphénoloxydase (PPO) dès la rupture de l'intégrité tissulaire, si aucune précaution (exclusion de l'air, addition d'antioxydant) n'est prise pour l'éviter. Cette réaction fait intervenir l'oxygène moléculaire et l'acide caftarique, substrat phénolique préférentiel de la PPO de raisin, qui est oxydé en *o*-quinone (*figure 2.5*, (1)). Cette dernière est un intermédiaire très réactif, à la fois oxydant puissant et fortement électrophile (capable de réagir avec les molécules possédant un excédent d'électrons, ou nucléophiles). Ainsi, dans les moûts, l'*o*-quinone d'acide caftarique réagit rapidement avec les réducteurs tels que l'acide ascorbique ou le sulfite (*figure 2.5,* (2)), et avec le glutathion pour former l'acide 2-S-glutahionyl caftarique (*Grape Reaction Product* ou GRP) par une réaction d'addition nucléophile (Cheynier *et al*., 1986) (*figure 2.5,* (3)). Elle peut aussi réagir avec d'autres composés phénoliques qui ne sont pas substrats de la PPO tels que le GRP (Cheynier et Van Hulst, 1986) ou les tanins (Cheynier et Ricardo da Silva, 1991) par un mécanisme d'oxydation couplée générant une quinone secondaire (*figure 2.5* (4)) et/ou par un mécanisme d'addition nucléophile générant un nouveau composé phénolique (*figure 2.5* (5)), qui peut à son tour être oxydé par oxydation couplée, ces cascades de réactions conduisant rapidement au brunissement. Plusieurs dimères résultant de réactions d'addition nucléophile entre la catéchine et sa quinone ou du couplage radicalaire des radicaux semi-quinones correspondants ont été identifiés (Guyot *et al*., 1996). Ces molécules (déhydrodicatéchines B) sont incolores mais leur oxydation conduit aux déhydrodicatéchines A qui sont des pigments jaunes. De même, l'oxydation de l'acide caftarique en présence de flavanols conduit à des adduits acide caftarique-flavanols. Ainsi, quoique la plupart des composés phénoliques ne soient pas substrats de la PPO, ils peuvent aussi être impliqués dans le processus d'oxydation enzymatique. Chaque étape d'oxydation impliquant la quinone d'acide caftarique s'accompagne d'une réduction de cette dernière en acide caftarique qui peut alors être à nouveau oxydé, de sorte que la teneur en acides hydroxycinnamiques substrats de l'enzyme n'est généralement pas limitante.

L'importance de l'oxydation dépend de l'apport d'oxygène lors des opérations préfermentaires et de la composition du raisin. La sensibilité des moûts vis-à-vis du brunissement enzymatique est déterminée par leur teneur en acide caftarique et, dans une moindre mesure, par les proportions relatives d'acide caftarique et de glutathion, qui sont des caractéristiques variétales mais peuvent être modifiées par les conditions de macération (Cheynier *et al*., 1989). Dans les moûts contenant peu d'acide caftarique, la majeure partie est oxydée au pressurage et, si le rapport glutathion sur acide caftarique est suffisant, l'acide caftarique est totalement converti en GRP. En revanche, dans les moûts riches en acide caftarique (moûts de certains cépages tels que le Grenache, moûts de presse ou obtenus après macération), les réactions d'oxydation s'effectuent en deux phases : l'acide caftarique est tout d'abord rapidement converti en GRP puis, après épuisement du glutathion, sa vitesse d'oxydation est fortement ralentie du fait de sa régénération par oxydation couplée du GRP. Le GRP est incolore mais son oxydation conduit à un brunissement intense. L'enrichissement des moûts en flavanols se traduit aussi par un brunissement accru en cas d'oxydation poussée (Cheynier *et al*., 1989). L'addition de réducteurs tels que les sulfites ou l'acide ascorbique maintient une forte concentration d'acide caftarique dans les moûts et en limite le brunissement, du fait de la réduction des quinones en acide caftarique, et, dans le cas du sulfite, de l'inhibition de la PPO. Enfin, si l'ensemble de ces mécanismes et leur incidence sur la consommation d'oxygène et le brunissement des moûts sont clairement démontrés, l'examen des cinétiques d'oxydation suggère que d'autres réducteurs et nucléophiles peuvent aussi intervenir lors de l'élaboration des moûts (Cheynier *et al*., 1990). Enfin, une autre polyphénoloxydase, la laccase, provenant du champignon *Botrytis cinerea* (agent de la

25788_vins_blancs.indb 39 13-10-11 12:23 PM

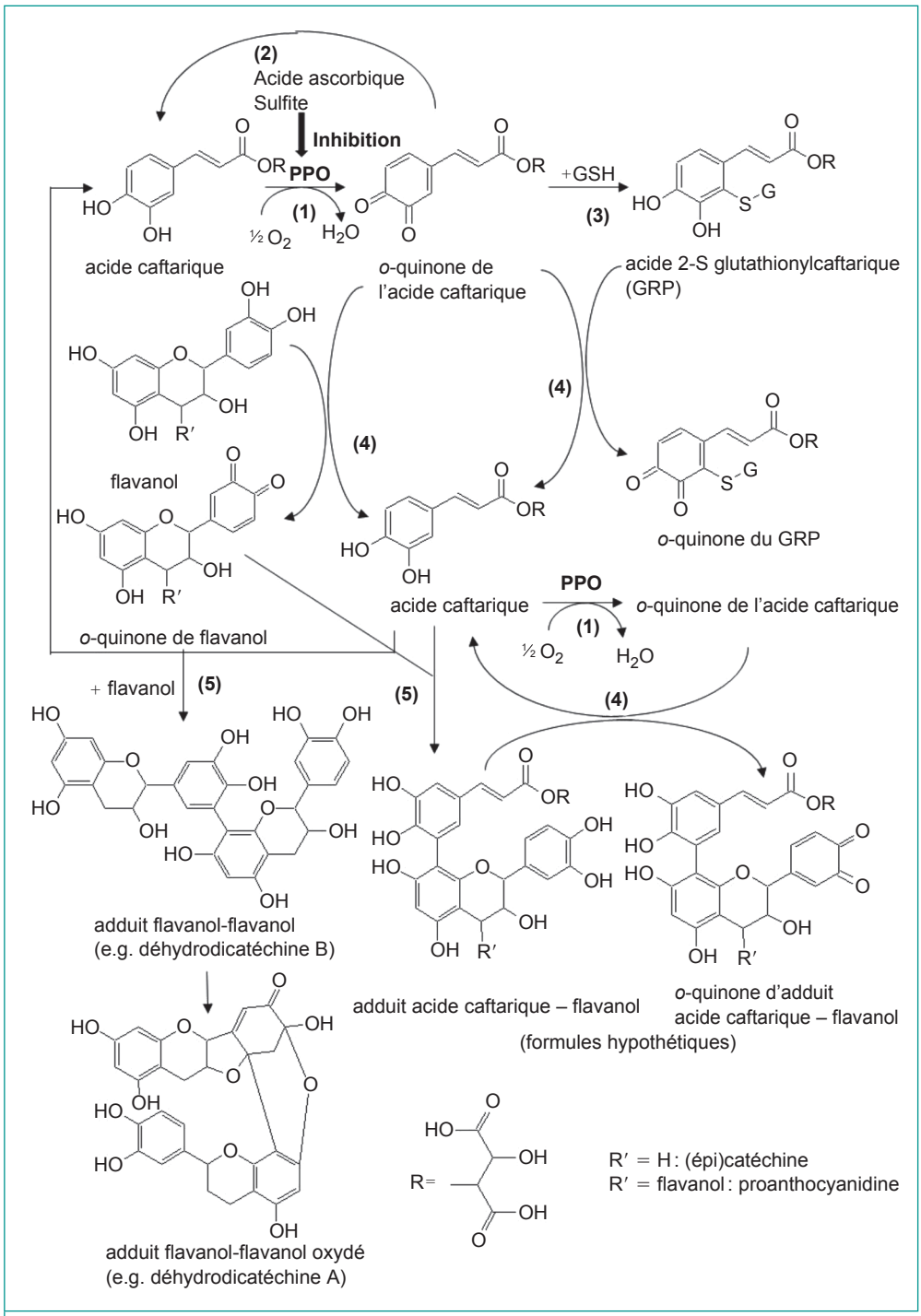


Figure 2.5 : Réaction d'oxydation enzymatique dans les moûts

25788_vins_blancs.indb 40 13-10-11 12:23 PM

pourriture grise et de la pourriture noble), peut également intervenir dans les phénomènes de brunissement enzymatique. Cette enzyme, de spécificité plus large que la PPO de raisin, est notamment capable d'oxyder le GRP.

Autres réactions biochimiques

D'autres enzymes peuvent modifier la composition phénolique des moûts et des vins. Les activités d'origine levurienne catalysent la formation des phénols volatils, vinylphénol et vinylguaiacol par décarboxylation des acides p-coumarique et férulique et la conversion de la tyrosine en tyrosol. Les pectinases et les β-glucanases sont les seules enzymes autorisées en œnologie. Elles sont utilisées en vinification en blanc pour faciliter les étapes de pressurage et de clarification ou pour améliorer la libération des arômes à partir de leurs précurseurs glycosylés. Néanmoins, les glycosidases peuvent aussi catalyser la libération des flavonols à partir de leurs formes glycosylées, ce qui conduit à la formation de troubles (*cf.* p. 44). En outre, les préparations commerciales utilisées peuvent présenter des activités cinnamoylestérase qui hydrolysent les esters tartriques des acides hydroxycinnamiques et tannase (tannin acyl hydrolase), active sur les proanthocyanidines galloylées.

Réactions des composés phénoliques dans les vins

À l'issue de la fermentation alcoolique, du fait de l'inactivation progressive des enzymes, les réactions chimiques deviennent prépondérantes. Les réactions d'hydrolyse se produisent aussi spontanément par catalyse acide dans les vins, de même que les réactions d'estérification des acides phénoliques et de trans-estérification de leurs formes esters. Ainsi, les produits d'hydrolyse des esters hydroxycinnamiques et du GRP (Cheynier *et al.*, 1986), l'acide gallique, provenant des procyanidines galloylées mais aussi de certains tanins œnologiques, et les esters éthyliques des acides phénoliques (Somers et Verette, 1988) s'accumulent lentement. Cependant, les principales modifications sont dues aux réactions d'oxydation qui se traduisent par une évolution de la couleur du jaune ou vert pâle vers des nuances ambrées préjudiciables à la qualité de la plupart des vins blancs. Ce phénomène de brunissement a été corrélé à la teneur des vins en composés phénoliques et plus particulièrement en flavanols. Les vins blancs obtenus après macération pelliculaire y sont plus sensibles que les témoins correspondants tandis que l'hyperoxygénation, qui consiste à insuffler de l'air dans le moût avant fermentation pour favoriser l'oxydation des composés phénoliques, produit des vins plus résistants (Cheynier *et al.*, 1989). Plusieurs voies réactionnelles permettent d'expliquer l'évolution de la couleur. L'autoxydation d'un composé phénolique conduit à un radical semiquinone ou, dans le cas des o-diphénols tels que la catéchine, à une o-quinone. Ces espèces intermédiaires, très réactives, évoluent vers des pigments jaunes (*e.g.* déhydrodicatéchines A) comme nous l'avons vu précédemment.

Les composés phénoliques ne régissent pas directement avec l'oxygène et leur autoxydation, comme celle des sulfites, nécessite l'intervention catalytique de métaux tels que le fer ou le cuivre. Diverses études menées en solutions modèles ont conduit à proposer un mécanisme impliquant une cascade de réactions initiée par l'introduction d'oxygène (Danielewicz, 2011). L'oxydation de la forme réduite du fer (Fe(II)) en ion ferrique (Fe(III)) s'accompagne de la réduction de l'oxygène en radical hydroperoxyle puis en peroxyde d'hydrogène (*figure 2.6, A*). Ce processus est accéléré par la présence de cuivre mais il est inhibé par le Fe(III) produit. Deux mécanismes impliquant l'oxydation des noyaux o-diphénols en semiquinones puis en o-quinones, soit par le radical hydroperoxyle (*figure 2.6, B*), soit par le Fe(III) (*figure 2.6, C*), ont été proposés. Toutefois, la réduction de l'oxygène par le Fe(II) n'est pas impactée par la présence

25788_vins_blancs.indb 41 13-10-11 12:23 PM

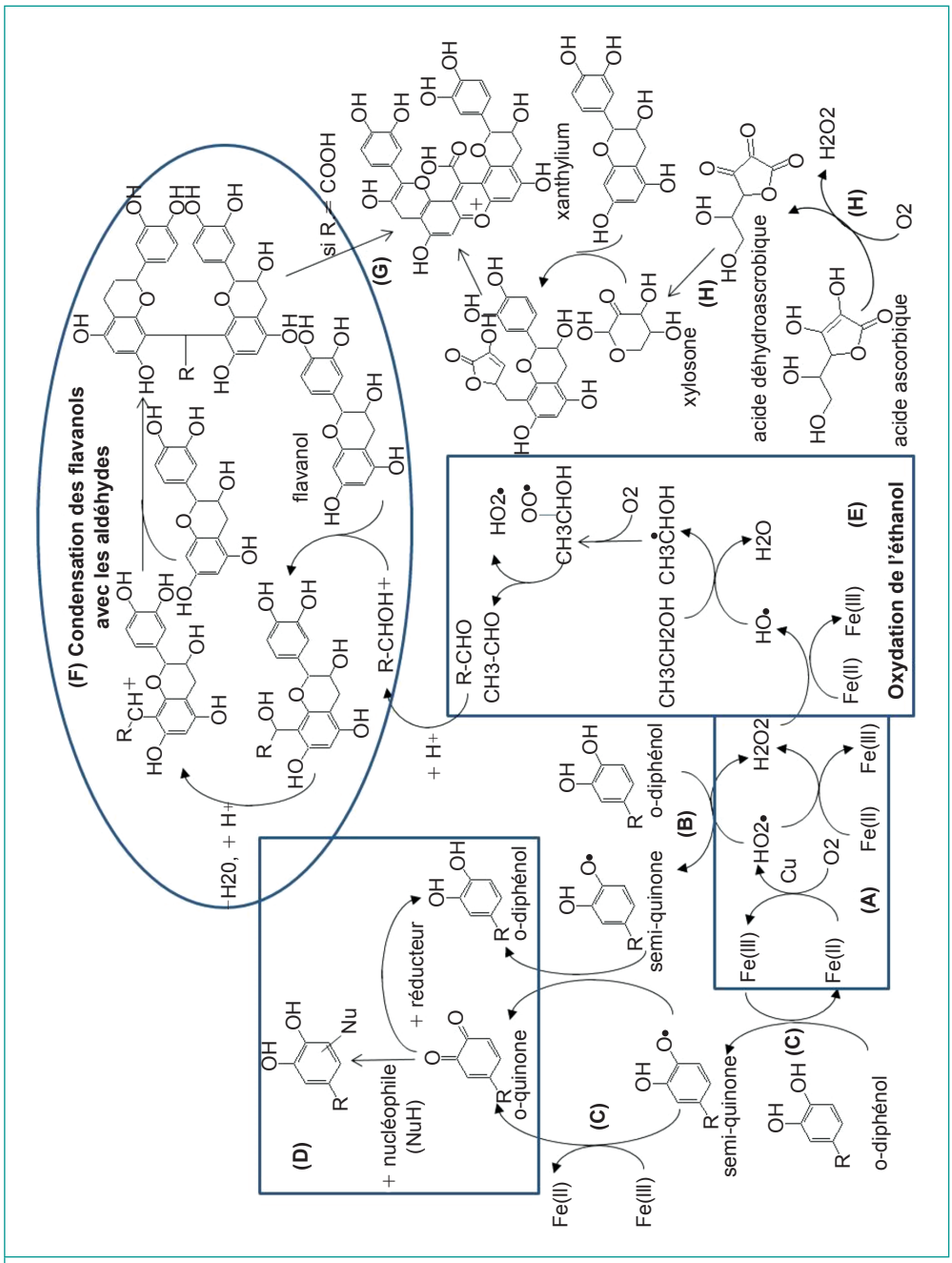


Figure 2.6 : Réaction d'oxydation des composés phénoliques

25788_vins_blancs.indb 42 13-10-11 12:23 PM

de catéchine, ce qui indique qu'elle ne réagit pas avec le radical hydroperoxyle. Par ailleurs, la réduction du Fe(III) par la catéchine est très limitée, sauf en présence de molécules capables de réagir avec les quinones (réductrices ou nucléophiles) et donc de déplacer l'équilibre de la réaction (*figure 2.6, D*). Une étude plus récente (Danilewicz, 2013) suggère que la réaction du Fe(II) avec l'oxygène ne produit pas le radical hydroperoxyle mais le peroxyde d'hydrogène. La réduction de ce dernier par le Fe(II) génère un intermédiaire radicalaire puissant, le radical hydroxyle, selon la réaction de Fenton, qui oxyde l'éthanol en acétaldéhyde (*figure 2.6, E*). Notons que l'éthanol, quoique nettement moins réducteur que les o-diphénols ou le Fe(II), est préférentiellement oxydé du fait de sa forte concentration.

D'autres pigments dérivés de la catéchine et des autres flavanols, les cations xanthylium, peuvent également contribuer au brunissement des vins blancs. Le premier mécanisme décrit pour la formation de ces produits implique une réaction de condensation du flavanol avec un aldéhyde, tel que l'acétaldéhyde, l'acide glyoxalique ou le furfural : l'aldéhyde, après l'addition d'un proton, réagit avec le noyau A du flavanol par une réaction de substitution aromatique électrophile pour former un intermédiaire réactionnel qui, après addition d'un nouveau proton et perte d'une molécule d'eau, réagit de la même façon avec une autre molécule de flavanol (*figure 2.6, F*). Le produit de cette réaction, dans le cas de la catéchine, est un dimère dont les deux unités catéchine sont liées par un pont – CH–R, avec R=CH_3 lorsque l'aldéhyde est l'acétaldéhyde (Fulcrand *et al*, 1996), ou COOH si c'est l'acide glyoxalique (Fulcrand *et al*., 1997). Les produits de condensation de la catéchine avec l'acide glyoxalique (Es-Safi *et al*., 1999) évoluent vers le xanthylium correspondant (*figure 2.6, G*). Ce mécanisme n'a pas été démontré avec l'acétaldéhyde mais la couleur orange des solutions est caractéristique de ce type de structures (Fulcrand *et al*., 2006). La formation des xanthylium est augmentée en présence de Fe et de Cu. Des mécanismes de formation de l'acide glyoxalique par oxydation de l'acide tartrique suivant une réaction de mécanisme de Fenton ou par un processus photochimique ont été proposés, ce dernier étant prédominant en présence d'éthanol (Clark *et al*., 2007). En fait, cette réaction requiert la présence d'oxygène, d'ions Fe et de lumière (Clark *et al*., 2011). La formation de pigments xanthylium est aussi impactée par l'exposition à la lumière et la température (Diaz *et al*., 2013). Ceci se traduit par un brunissement plus intense dans les vins conservés en bouteilles claires lorsque la température est contrôlée et au contraire dans les vins conservés en bouteilles foncées lorsqu'elle ne l'est pas, cette inversion de tendance étant expliquée par le maintien d'une température plus élevée dans les bouteilles sombres. Un effet promoteur de l'acide ascorbique, utilisé comme antioxydant, a aussi été démontré (Bradshaw *et al*., 2003). En accord avec cette observation, un autre mécanisme générant le xanthylium dérivé de l'acide glyoxalique a été récemment mis en évidence (Barril *et al*., 2009). Il fait intervenir le xylosone, produit de l'oxydation de l'acide ascorbique, catalysée par les ions métalliques (*figure 2.6, H*).

Le principal antioxydant utilisé dans les vins pour prévenir le brunissement oxydatif est le dioxyde de soufre (SO_2, en équilibre avec le sulfite d'hydrogène, HSO_3^-), souvent en combinaison avec l'acide ascorbique. À la différence de l'acide ascorbique, les sulfites ne réagissent pas directement avec l'oxygène mais avec le peroxyde d'hydrogène, ce qui a pour effet de limiter l'oxydation de l'éthanol en acétaldéhyde. Ils réduisent les o-quinones et forment avec elles des produits d'addition (sulfones), accélérant ainsi la consommation d'oxygène. Enfin, ils se combinent avec les aldéhydes et donc limitent les réactions de condensation conduisant à la formation de xanthylium. Quoique les sulfites préviennent efficacement le brunissement oxydatif des vins blancs, leur utilisation pose des problèmes de santé publique, ce qui justifie la recherche de traitements alternatifs. L'association du sulfite avec l'acide ascorbique ne protège pas ce dernier et augmente, dans certains cas, la réaction de la catéchine avec le xylosone, mais retarde la conversion des produits de cette réaction en xanthylium et donc le brunissement (Barril *et al*., 2012). L'association du glutathion (dont l'addition n'est pas encore autorisée par la législation

25788_vins_blancs.indb 43 13-10-11 12:23 PM

mais qui peut être apporté sous forme de dérivés de levures) avec l'acide ascorbique a également été proposée. En l'absence de sulfites, le glutathion ralentit la dégradation de l'acide ascorbique, la formation de xanthylium et le brunissement qui ne se produit qu'après épuisement de l'acide ascorbique (Sonni *et al.*, 2011). Les pigments formés dans ces conditions sont de nature différente de ceux formés en l'absence de glutathion ; cela indique que le glutathion, comme l'acide ascorbique, peut à la fois prévenir et promouvoir le phénomène de brunissement oxydatif.

Impact organoleptique

En plus de leur rôle dans les phénomènes de brunissement oxydatif et en tant que précurseur de certains composés volatils (*cf.* p. 26), les composés phénoliques pourraient contribuer à d'autres propriétés organoleptiques des vins blancs. En particulier, on leur attribue un rôle dans la formation de trouble et certaines caractéristiques gustatives. Les composés phénoliques, et notamment les tanins qui interagissent fortement avec les protéines, ont été détectés dans les troubles protéiques de vins blancs (Waters *et al.*, 1994). Cependant, les études récentes ont démontré que ces molécules n'ont que peu d'impact sur l'instabilité qui dépend principalement de la nature des protéines présentes, avec un rôle majeur des chitinases mais aussi des protéines thaumatin like (Gazzola *et al.*, 2012). Un autre type d'instabilité, lié à la présence de flavonol aglycones, très peu solubles, a également été rapporté (Somers et Ziemelis, 1985).

Les composés phénoliques sont les principaux responsables de l'amertume et de l'astringence des vins (Noble, 1990). Divers travaux ont défini leurs seuils de perception en solutions modèles et dans les vins. Les acides hydroxycinnamiques sont amers et acides mais ces caractéristiques ne sont pas perçues dans les vins (Verette *et al.*, 1988). L'acide gallique est perçu comme à la fois amer, acide, astringent et sucré (Peleg et Noble, 1995). Les flavanols monomères et l'acide gallique sont plus amers qu'astringents tandis que les flavanols oligomères sont surtout astringents (Noble, 1990). Une étude récente a évalué leur rôle dans les propriétés gustatives des vins blancs (Gawel *et al.*, 2008). Elle a montré que l'astringence dépend essentiellement du pH et est peu affectée par leur teneur en composés phénoliques, tandis que l'amertume est imputable à la fraction phénolique mais pas à ses principaux constituants, acide caftarique et GRP. D'après des expériences de fractionnement et de reconstruction réalisées sur un vin rouge (Hufnagel and Hofmann, 2008), l'amertume pourrait être due aux esters éthyliques des acides phénols et aux flavanols de faible masse. Un caractère astringent velouté (« velvety ») a également été décrit pour les flavonols avec des seuils de perception parfois très bas.

25788_vins_blancs.indb 44 13-10-11 12:23 PM

Influence de l'état sanitaire des raisins

7

La microflore présente à la surface de la baie de raisin constitue une communauté complexe, composée d'une grande variété de moisissures, levures et bactéries.

Ces travaux réalisés montrent l'importance de cet écosystème du point de vue technologique, puisqu'il peut influencer l'état sanitaire des raisins et peut également conditionner de façon déterminante l'élaboration du vin et ses propriétés organoleptiques.

Moisissures

Une grande diversité

La diversité fongique des baies a été mise en évidence dans plusieurs travaux qui ont répertorié différentes espèces appartenant à plus de 30 genres de moisissures différents. *Aureobasidium spp.*, *Alternaria spp.*, *Aspergillus spp.*, *Botrytis spp.*, *Cladosporium spp.*, *Epicoccum spp.*, *Fusarium spp.*, *Penicillium spp.*, *Phoma spp.*, *Rhizopus spp.*, *Trichoderma spp.* ont été les plus fréquemment retrouvés sur raisins (Sage *et al.*, 2004 ; Bau *et al.*, 2005 ; Serra *et al.*, 2005 ; Doaré-Lebrun *et al.*, 2006 ; Laforgue *et al.*, 2009).

La présence des champignons sur la baie est souvent associée à un effet néfaste sur les raisins. En fait, les champignons sont à l'origine de différents types de pourritures et sont la cause de perte de rendements de récolte. *Uncinula necator*, déjà mentionné comme pathogène de la vigne, peut aussi avoir un effet nuisible sur les baies. À un stade précoce de développement de ce pathogène, il est visuellement indétectable, mais il provoque déjà un changement de la communauté microbienne (Gadoury *et al.*, 2007), favorisant la présence de micro-organismes associés à des pourritures (*photo 2.1 et 2.2*). Une fois que le champignon se développe, la qualité et le rendement de la récolte sont gravement compromis. Les moûts et les vins provenant de baies atteintes par l'oïdium présentent ainsi des odeurs de « champignon » (Darriet *et al.*, 2002 ; Stummer *et al.*, 2005).

Botrytis cinerea joue un rôle prépondérant dans le développement des pourritures du raisin. Il pénètre dans les tissus de la baie, et altère leur structure, facilitant la colonisation du fruit par les levures et les bactéries d'altération (Nisiotou *et al.*, 2011).

La pourriture grise, occasionnée par *Botrytis*, peut aussi être provoquée par d'autres champignons tels *Penicillium* et *Rhizopus*. Au-delà de la formation de composés responsables des défauts du vin, ce type de pourriture induit la production par la plante de protéines liées à la pathogenèse (Girbau *et al.*, 2004), affectant par la suite la limpidité des vins blancs. Cette pourriture est appelée la pourriture colorée. En effet, elle se caractérise par des colorations variées. Par exemple, en présence de *Penicillium* et de *Cladosporium*, la pourriture est bleue ou verte (*photo 2.1*). En revanche, en présence *d'Aspergillus*, la pourriture est noire (*photo 2.2*).

25788_vins_blancs.indb 45 13-10-11 12:23 PM

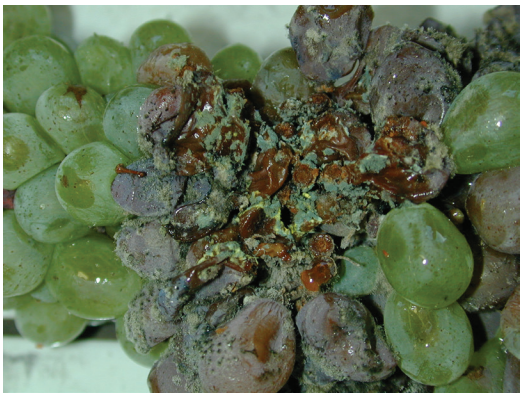


Photo 2.1 : **Penicillium** ***sur grappe***
Source : IFV

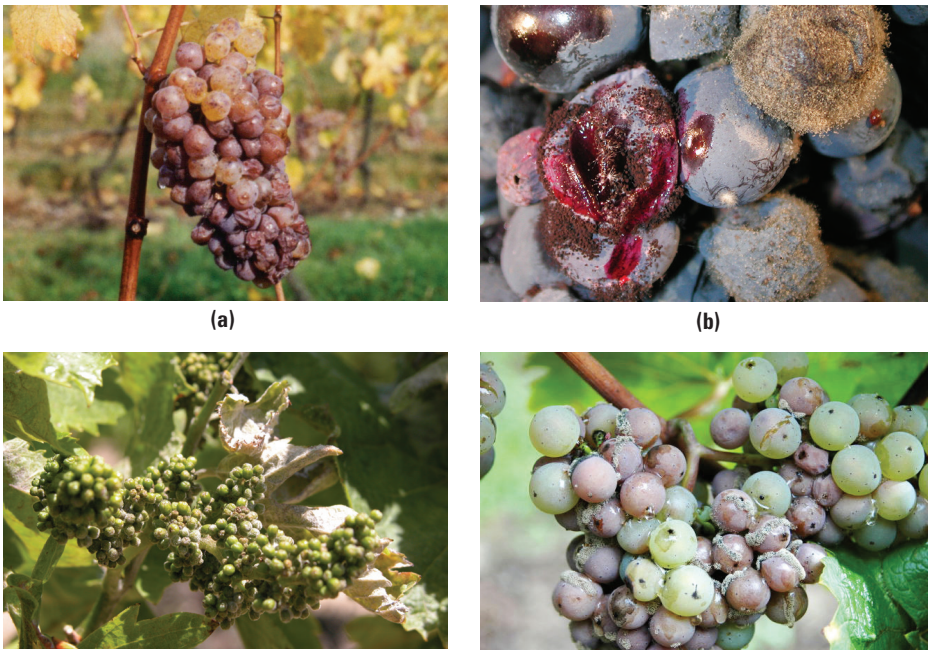


Photo 2.2 : Présence de moisissures dans les baies de raisin sous forme de différentes pourritures

a) Pourriture noble due à **Botrytis cinerea** ***(source : P. Chretien – IFV)***
b) Aspergillus carbonarius sur une baie de raisin éclaté (source : O. Geffroy – IFV)
c) Symptômes de l'oïdium sur grappes (source : O. Geffroy – IFV)
d) Grappe atteinte de pourriture grise (source : O. Geffroy – IFV)

25788_vins_blancs.indb 46 13-10-11 12:23 PM

En dehors de *Botrytis*, d'autres organismes participent activement au développement de ce type de pourriture tels que les champignons *Aspergillus carbonarius*, *Colletotrichum acutatum* (Dimakopoulou *et al.*, 2008), les levures *Kloeckera apiculata*, *Candida stellata*, et les bactéries *Gluconobacter spp.*, *Acetobacter spp.* (Blancard *et al.*, 2000).

D'autres moisissures capables de produire des mycotoxines comme l'ochratoxine A ont fait l'objet d'études spécifiques (*tableau 2.1*). Cette molécule potentiellement cancérigène pour l'homme présente des propriétés néphrotoxiques, tératogènes, immunotoxiques et lymphotoxiques (Battalglia *et al.*, 1996). La présence de cette toxine dans le vin et les jus de raisins a été pour la première fois mise en évidence par Zimmerli & Dick en 1996.

Plusieurs travaux ont été réalisés sur l'étude de cette flore mycotoxinogène et sur ses microorganismes potentiellement antagonistes. Au sein des genres *Aspergillus* et *Penicillium*, Serra *et al.* (2005) mettent en évidence que *A. carbonarius* et *A. niger* sont les principales espèces productrices d'ochratoxine A. Il a été aussi montré que les régions avec un climat de type méditerranéen sont plus fréquemment concernées par ce problème (Zimmerli & Dick, 1996 ; Serra *et al.*, 2005).

Cas particulier de Botrytis cinerea

Le *Botrytis* a des effets négatifs (pourriture grise) sur les critères essentiels de la qualité du vin : la couleur, les arômes ainsi que la tenue au vieillissement. La présence de la pourriture grise engendre les phénomènes œnologiques suivants :

- dégradation des sucres simples (glucose et fructose) en acide gluconique et glycérol, voire de l'acide citrique et acétique, celle-ci est corrélée à la perte de degré alcoolique du moût et du vin ;
- augmentation de l'activité enzymatique des laccases, responsables de l'oxydation des composés phénoliques impliqués dans la couleur et les arômes du vin ;
- formation de polysaccharides, les glucanes, perturbateurs des opérations de filtration et de clarification des vins ;
- altération de la qualité du vin : goût désagréable (odeurs fongiques et moisies) et déficience de constitution qui rend les vins fragiles et inaptes au vieillissement ;
- des arômes de moisi ou de sous-bois peuvent en outre apparaître, dus à des composés terpéniques, ou des dérivés en C9 des acides gras cuticulaires comme l'oct-1-èn-3-ol ou l'oct-1-èn-3-one.

Tableau 2.1 : Mycotoxines produites par des moisissures de la baie de raisin

Mycotoxines	Moisissures responsables	Références
Aflatoxine*	*Aspergillus flavus, A. parasiticus*	Bau *et al.*, 2000 ; Serra *et al.*, 2005
Citrinine	*Penicillium expansum, P. verrucosum*	Serra *et al.*, 2005 ; Bragulat *et al.*, 2008
Ochratoxine A* Fumonisine B2	*Aspergillus carbonarius, A. niger, A. tubingensis*	Abrunhosa *et al.*, 2001, 2011 ; Battilani *et al.*, 2001 ; Palumbo *et al.*, 2011
Patuline*	*Penicillium expansum, P. griseofulvum*	Abrunhosa *et al.*, 2001 ; Serra *et al.*, 2005
Trichothécènes*	*Fusarium spp., Trichotecium roseum*	Serra *et al.*, 2005

* Mycotoxines considérées comme les plus importantes du point de vue de la santé humaine selon le Conseil pour l'agriculture, science et technologie (Rapport n° 139, CAST, 2003).

25788_vins_blancs.indb 47 13-10-11 12:23 PM

Ces dégâts entraînent également une perte de rendement, par la perte de grappes, mais aussi par une diminution du jus disponible.

La pourriture noble est le seul processus de colonisation fongique où l'activité de *Botrytis* est souhaitée. En conditions climatiques particulières, le métabolisme de *Botrytis* stimule la production de précurseurs d'arômes caractéristiques des vins liquoreux issus de pourritures nobles (Thibon *et al.*, 2009). Avant ce processus de botrytisation, les baies de raisin sont dorées, à peaux épaisses, légèrement pigmentées de brun. Sous l'action du *Botrytis*, celles-ci prennent alors une teinte marron chocolat, puis virent au violet, voire au bleu nuit, avant de se flétrir (*photo 2.3*). On dit alors que le raisin est « rôti ». Ces transformations sont dues à une importante perte en eau et à une intense macération enzymatique de leur pellicule. À titre d'exemple, rappelons que l'activité pectinase constatée dans une baie pourrie est environ cent fois plus importante que celle mesurée dans une baie saine. Les données physiques (volume de jus, poids des baies) traduisent bien le phénomène de dessiccation des raisins botrytisés et la concentration est de deux à cinq fois plus importante selon les conditions climatiques. Le profil œnologique du moût est spécifique : très riche en sucres, mais son acidité est voisine de celle d'un jus provenant de raisins sains, la teneur en acide tartrique est même souvent plus faible et le pH plus élevé. Des composés absents ou en concentration négligeable dans un raisin sain se trouvent en quantité notable dans les raisins « pourris rôtis » ; c'est le cas du glycérol et de l'acide gluconique pouvant atteindre respectivement 7 g/L, et plus de 3 g/L dans le moût botrytisé.

Au final, ces vins, obtenus par récoltes minutieuses et successives de « grains nobles », sont caractérisés par d'intenses saveurs fruitées de type abricot, agrumes ou fruits tropicaux, qui ont en plus la caractéristique de se renforcer au vieillissement. En bouche, c'est le parfait équilibre entre la liqueur sucrée et l'acidité qui signe ces grands vins liquoreux qui peuvent défier le temps par leur capacité d'évolution sous verre.

La pourriture noble est à l'origine des grands vins blancs liquoreux français, en particulier ceux du Sud-Ouest (Montbazillac, Sauternes) issus des cépages Sémillon et Sauvignon, ou des sélections de grains nobles de Chenin de Loire ou encore de Gewürztraminer, Pinot gris et Riesling d'Alsace. Elle est aussi associée à certaines productions allemandes, autrichiennes, hongroises ou suisses, en Europe.

Photo 2.3 : Différents stades de l'établissement de la pourriture noble

Source : P. Chretien – IFV

Levures

Pour plus de détails, voir le chapitre p. 164.

L'importance indéniable des levures dans l'élaboration du vin a conduit de nombreux chercheurs à s'intéresser à leur écologie. Néanmoins, si la communauté de levures du vin est depuis longtemps connue, celle présente dans le vignoble, et en particulier dans la baie, a été moins étudiée. Les premières études concernant la présence des levures dans/sur la baie de raisin ont été réalisées par Parle et Di Menna (1966), Davenport (1973) et Belin (1981), montrant que les raisins hébergent une diversité importante de levures.

25788_vins_blancs.indb 48 13-10-11 12:23 PM

Les baies de raisin sont la source primaire de levures lors de la fermentation du moût (Fleet *et al.*, 2002). Dans différentes régions viticoles au monde, les travaux d'isolement et d'identifications des levures ont montré que les genres *Pichia*, *Candida*, *Metschnikowia*, *Kluyveromyces*, *Cryptococcus*, *Rhodotorula*, *Debaryomyces*, *Issatchenkia*, *Zygosaccharomyces*, *Saccharomycodes*, *Torulaspora*, *Dekkera*, *Schizosaccharomyces* et *Sporidiobolus* sont les plus fréquemment retrouvées (Sabate *et al.*, 2002 ; Fleet *et al.*, 2002 ; Prakitchaiwattana *et al.*, 2004 ; Raspor *et al.*, 2006 ; Nisiotou & Nychas 2007 ; Chavan *et al.*, 2009). Cependant, l'agent principal de la fermentation alcoolique (*Saccharomyces cerevisiae*) est rarement isolé à partir d'échantillons de baies de raisin (Mortimer & Polsinelli, 1999). D'autres espèces non-*Saccharomyces*, comme *Issatchenkia orientalis*, *Candida zemplinina*, *Metschikowia pulcherrina*, *Torulaspora delbrueckii* et *Hanseniaspora spp.* constituent également une grande partie de la diversité de la communauté de la baie et sont présentes durant la fermentation alcoolique, en particulier lors des stades préfermentaires (Zott *et al.*, 2008). Ces levures peuvent être intéressantes d'un point de vue œnologique, et contribuer à la complexité aromatique des vins (Renault *et al.*, 2009 ; Zott *et al.*, 2010).

Si certaines levures présentes dans les baies de raisin peuvent participer de façon favorable à l'élaboration du vin, d'autres peuvent se développer au détriment de sa qualité (Renouf *et al.*, 2007). C'est le cas notamment des levures du genre *Brettanomyces*, reconnues comme les principaux agents de contamination des vins, et plus particulièrement des vins rouges, et qui, à partir des acides phénols présents dans le raisin, produisent des composés volatils responsables des défauts olfactifs de caractère animal tels que l'odeur d'écurie, de sueur ou d'urine de cheval (Loureiro & Malfeito-Ferreira, 2003).

La pourriture acide se caractérise par une couleur marron de baies d'intensité variable. La peau du raisin devient plus fine, fragile et les baies se vident plus ou moins de leur contenu. De plus, il émane des grappes une odeur piquante d'acide acétique et une abondance de drosophiles qui sont les principaux vecteurs des agents responsables de cette pourriture. Cette maladie est principalement due à l'intervention de levures telles que *Candida*, *Hanseniaspora*, *Kloeckera*, seules ou en association avec des bactéries acétiques (Bisiach *et al.*, 1982).

Bactéries

La présence des bactéries dans/sur les baies de raisin est depuis longtemps démontrée (Lafon-Lafourcade *et al.*, 1983). Les premiers travaux sur les communautés bactériennes de la baie de raisin se sont intéressés à des populations spécifiques comme les bactéries lactiques (BL) (Lafon-Lafourcade *et al.*, 1983) et les bactéries acétiques (BA) (Joyeux *et al.*, 1984) étant donné leur importance œnologique.

Chez les bactéries lactiques, *Oenococcus oeni* est l'espèce majoritaire responsable de la fermentation malolactique (FML). Cette étape, qui succède normalement à la fermentation alcoolique, est considérée comme essentielle pour la qualité des vins rouges et de certains vins blancs. Elle permet la désacidification naturelle des vins par la transformation de l'acide malique en acide lactique, atténuant ainsi l'astringence du vin, renforçant la couleur des vins rouges et entraînant des modifications aromatiques significatives. D'autres BL du genre *Lactobacillus*, *Pediococcus* et *Leuconostoc* ont un effet défavorable sur le vin, produisant des composées indésirables tels que les amines biogènes et autres métabolites responsables de défauts organoleptiques (Lonvaud-Funel, 1999 ; Lonvaud-Funel, 2001). Contrairement à l'espèce *Oenococcus oeni*, la présence de ces espèces bactériennes est très fréquente dans/sur la baie de raisin (Bae *et al.*, 2006).

25788_vins_blancs.indb 49 13-10-11 12:23 PM

Au sein des bactéries acétiques, *Acetobacter* et *Gluconobacter*, utilisent le sucre et l'éthanol comme source de carbone et produisent des quantités importantes d'acide acétique, compromettant la qualité du vin (Lonvaud-Funel, 2001 ; González *et al.*, 2005). Le plus souvent *Botrytis cinerea* exerce un pouvoir antagoniste, empêchant la multiplication de ces micro-organismes. Dans certains cas, on assiste à la prolifération de bactéries acétiques, notamment celles appartenant aux genres *Gluconobacter*, à partir de jus sucré s'échappant de fissures occasionnées par émergence des filaments de *B. Cinerea*. L'évolution de la pourriture du raisin à partir du stade « pourri plein » est alors différente et conduit au développement de la pourriture aigre.

En dehors des BL et des BA dont l'impact direct sur le vin est bien connu, d'autres espèces peuvent également avoir un effet néfaste sur vin. Il s'agit de *Streptomyces* (La Guerche *et al.*, 2007), dont la présence est associée à des défauts aromatiques dans le vin, notamment la géosmine responsable de l'odeur moisie-terreuse (Darriet *et al.*, 2002).

La baie de raisin abrite en outre des populations bactériennes tout au long de sa croissance (Bae *et al.*, 2006) pathogènes. Au-delà des genres déjà mentionnés précédemment, des études plus récentes ont révélé la diversité de cette communauté décrivant les genres *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Weissella*, *Sporolactobacillus*, *Asaia*, *Bacillus* (Bae *et al.*, 2006), *Staphylococcus*, *Stenotrophomonas*, *Acinetobacter*, *Serratia*, *Enterobacter*, *Curtobacterium* (Prieto *et al.*, 2007), *Streptomyces* (La Guerche *et al.*, 2007), *Citrobacter*, *Erwinia*, *Klebsiella*, *Pantoea*, *Providencia*, *Tatumella* (Nisiotou *et al.*, 2011), *Paenibacillus* (Compant *et al.*, 2011), *Exiguobacterium* (Verginer *et al.*, 2010).

Influence des facteurs environnementaux sur l'écologie microbienne des raisins

Les facteurs écologiques affectant un écosystème microbien donné sont nombreux et agissent de façon simultanée : pH, température, hygrométrie-activité de l'eau, essentiellement, et bien sûr l'accessibilité aux nutriments, dont principalement le sucre.

Aux stades les plus précoces, les espèces *Basidiomycètes* sont dominantes, puis l'augmentation du nombre d'espèces *Ascomycètes*, notamment celles qui possèdent des capacités fermentaires, est observé aux stades de maturité (*Metschnikowia, Hanseniaspora*, *Candida* et *Pichia*) (Rementeria, *et al.*, 2003 ; Renouf, 2006 ; Barata *et al.*, 2012). Ce changement peut être lié à la disponibilité et à la composition en nutriments, puisqu'au cours du développement de la grappe, la quantité d'exsudats augmente, la teneur en sucres augmente et l'acidité diminue.

Le climat peut être un des facteurs expliquant l'effet millésime et la variabilité des espèces retrouvées sur plusieurs années dans les baies d'un même vignoble (Guerzoni & Marchetti, 1987 ; De La Torre *et al.*, 1999 ; Sabate *et al.*, 2002).

L'impact des traitements phytosanitaires de la vigne sur les populations de levures du moût en fermentation a été plusieurs fois évalué. Les travaux montrent un effet négatif sur la densité et la diversité des populations de levures, notamment sur l'espèce *Saccharomyces cerevisiae* (Viviani-Nauer *et al.*, 1995 ; Guerra *et al.*, 1999). Néanmoins, ces résultats ne peuvent pas être extrapolés à la baie de raisin, puisque dans le moût, du fait de la teneur en sucres élevée du pH, de l'apport de dioxyde de soufre, de l'anaérobiose, la communauté des levures est différente de celle de la baie de raisin.

L'effet cépage a été considéré dans différentes études, montrant qu'il peut influencer la diversité (Guerzoni & Marchetti, 1987) et la densité des populations de levures (Zahavi *et al.*, 2002).

25788_vins_blancs.indb 50 13-10-11 12:23 PM

Cependant, il a aussi été constaté que la population de levures pouvait varier, pour un même cépage, dans une même parcelle (Sabate *et al.*, 2002).

Parmi les facteurs qui influent sur la diversité de la communauté microbienne de la vigne, en particulier la communauté levures, l'état sanitaire des baies est sans doute un des plus prépondérants. La dégradation de la structure de la pellicule de la baie par l'action de champignons comme *Botrytis* ou par des phénomènes climatiques comme la grêle ou par l'éclatement pelliculaire par absorption d'eau suite à des pluies, entraîne la modification de la structure de la population de levures (Nisiotou *et al.*, 2007), entre autres avec l'apparition de certaines espèces associées à des défauts du vin comme *Zygosaccharomyces bailii*, *Issatchenkia spp.*, *Kluyveromyces dobzhanskii*, *Kazachstania sp.* (Guerzoni & Marchetti, 1987 ; Nisiotou *et al.*, 2007).

Des travaux récemment conduits dans le bordelais ont permis de mettre en évidence les facteurs biotiques et abiotiques influençant sur la communauté microbienne des baies de raisins (Martins *et al.,* 2012 ; Renouf, 2006). Au cours de deux campagnes consécutives (2010 et 2011), les résultats obtenus montrent une dynamique temporelle des populations cultivables, avec une augmentation des niveaux de population à partir des stades de début véraison et début maturité, et une diversité de cette communauté plus importante aux stades de maturité et maturité avancée. Cette évolution est probablement liée au changement de la matrice baie de raisin ; une corrélation positive entre niveaux de population et teneur en sucres des exsudats a été mise en évidence.

Au cours de la maturation, de nouvelles espèces propagées par le vent, les insectes, des « splash » de pluie, la poussière de sol, contribuent à la diversité et à l'enrichissement de cette communauté. Les populations cultivables de levures et de bactéries se situent globalement à des niveaux équivalents, ce qui montre que ces deux communautés se maintiennent en équilibre au sein du biofilm établi à la surface de la baie.

Les espèces Gram négatives décroissent au fur et à mesure de l'avancée de la maturation, contrairement aux espèces Gram positives, celles-ci étant par la suite prédominantes dans le moût et le vin, dans la logique d'un continuum d'espèces du raisin au vin.

Le genre *Pseudomonas* est le plus abondant, ses espèces productrices d'exopolysaccharides jouant probablement un rôle notable dans l'établissement de biofilm. D'autres genres tels que *Bacillus* et *Streptomyces sp.*, isolés, peuvent également jouer un rôle majeur dans la protection de la baie vis-à-vis de pathogènes tel que *Botrytis*.

Des huit genres identifiés, les espèces les plus abondantes appartenaient au genre *Aureobasidium*. En particulier, l'espèce *Aureobasidium pullulans*, présente dans tous les stades phénologiques, a été décrite comme un agent potentiel de biocontrôle vis-à-vis de champignons producteurs de mycotoxines. En accord avec des travaux antérieurs, l'isolement des espèces fermentaires est beaucoup plus rare. L'analyse par PCR en temps réel a révélé la présence de ce type de levures dès le stade de début de véraison. La présence de *Saccharomyces sp.* est vérifiée dans un seul site expérimental sur les 8, la localisation de cette parcelle dans un environnement urbain et proche des fruits en décomposition pouvant jouer le rôle d'inoculum.

En analysant différents paramètres de la population bactérienne et fongique tels que la structure, la densité et l'activité métabolique, il est possible de montrer que les facteurs environnementaux peuvent avoir un impact sur cette communauté microbienne. Ainsi, les zones climatiques plus fraîches et humides, favorisent le développement des micro-organismes. L'humidité relative et la quantité d'eau existant dans le milieu, notamment celle disponible vis-à-vis des micro-organismes (Aw), sont des facteurs pouvant expliquer les niveaux de populations plus élevés observés.

25788_vins_blancs.indb 51 13-10-11 12:23 PM

Dans le contexte actuel de la réduction des intrants, l'utilisation de produits inorganiques (à base de cuivre et soufre) constitue l'alternative principale aux produits phytosanitaires de synthèse, agréés en agriculture biologique et en agriculture raisonnée. L'écotoxicité du cuivre sur les populations microbiennes a été constatée pour différents écosystèmes, cependant son impact sur les communautés microbiennes de la baie de raisin n'a jamais été évalué jusqu'à présent. À l'échelle de la parcelle, il a été mis en évidence l'impact négatif des résidus cupriques sur la densité, l'activité et la structure de la communauté microbienne, en particulier dans sa fraction bactérienne. La diversité métabolique et de structure de cette communauté diminue avec l'augmentation du niveau de résidus cupriques de la baie de raisin. Ces résultats confirment que l'usage des produits phytosanitaires cupriques doit être raisonné.

Conclusions

L'état sanitaire des raisins est une clé indispensable à la définition de la qualité et plus particulièrement de la qualité organoleptique du vin à obtenir. Les indicateurs principalement utilisés à ce jour pour caractériser la matière première qu'est le raisin sont liés à la maturité technologique du raisin (sucres, acidité, essentiellement), mais il est clair qu'aujourd'hui ces seuls critères sont insuffisants, de même que de faire des observations de fréquence et d'intensités liés à *Botrytis cinerea*. Cependant, actuellement, nous n'avons pas d'indicateur simple pour prendre en compte toute la complexité liée à la flore épiphyte du raisin, qui souvent est un critère nécessaire mais pas suffisant pour expliquer les profils organoleptiques des vins finis. Effectivement, les facteurs environnementaux amenant au développement d'une population favorable ou défavorable ainsi que la production de métabolites secondaires par cette flore épiphyte sont aussi des facteurs primordiaux.

25788_vins_blancs.indb 52 13-10-11 12:23 PM

III

Aspects viticoles

25788_vins_blancs.indb 53 13-10-11 12:23 PM

Une des spécificités de la filière viticole est sa pluralité. C'est à la fois une faiblesse en termes d'industrialisation, mais également un atout en termes d'adaptation aux marchés et aux attentes des consommateurs.

Cette diversité passe bien évidemment par le matériel végétal. Un état des lieux des principaux cépages autorisés et de leurs aptitudes agronomiques et technologiques sera donc dressé dans cette partie, sans oublier les perspectives offertes aujourd'hui à la création variétale par la génomique.

Elle passe aussi par les modes de conduite et les pratiques culturales qui permettent d'adapter le cépage à son milieu de culture et d'orienter la vendange vers la qualité nécessaire à l'obtention du produit désiré. C'est ce que développera le second volet de cette partie traitant des aspects viticoles.

25788_vins_blancs.indb 54 13-10-11 12:23 PM

Matériel végétal

8

Encépagement actuel

Présentation des principaux cépages blancs

Les cépages sont ici présentés dans le détail par ordre alphabétique. Une autre clé de classification possible est le type aromatique de vins que l'on peut obtenir. Le *tableau 3.1* propose une répartition des cépages selon cette classification sachant qu'elle n'est pas exhaustive et que les modes de cultures et la technologie sont à même d'orienter différemment le type de profil aromatique.

Tableau 3.1 : Principaux cépages blancs

Vin de type thiols	Vins à notes terpéniques	Vins aromatiques divers	Vins plutôt neutres et vifs	Vin plutôt neutres et gras	Vins à aptitude de garde affirmée
Colombard Gros Manseng Petit Manseng Sauvignon	Clairette Gewürztraminer Muscat à petits grains Muscat d'Alexandrie Vermentino	Marsanne Roussanne Pinot gris Viognier	Macabeu Mauzac Melon Piquepoul blanc Ugni blanc	Aligoté Grenache blanc Pinot blanc Sémillon	Chenin Chardonnay Petit Manseng Riesling Sémillon

25788_vins_blancs.indb 55 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage cultivé en Bourgogne résulte, d'après les analyses génétiques publiées, d'un croisement entre le Pinot et le Gouais B.

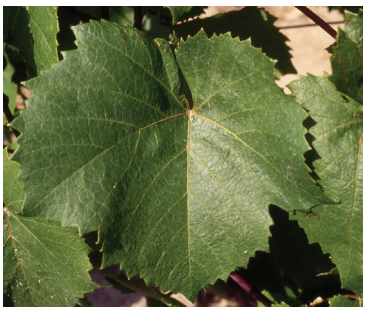


Photo 3.1 : Aligoté B : feuille

Photo 3.2 : Aligoté B : grappe

Tableau 3.2 : Aligoté B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
1 883	1 753	1 188	1 276	1 724	1 897	1 971

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

L'Aligoté est principalement cultivé en Bourgogne, mais également dans l'Yonne et la Drôme.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 2 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 1re époque, 1 semaine et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

L'Aligoté B est un cépage fertile bien adapté aux zones septentrionales. Il manifeste souvent du millerandage.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Ce cépage est peu attaqué par l'oïdium mais s'avère assez sensible au mildiou et à la pourriture grise.

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes et les baies sont petites. Les vins d'Aligoté B sont vifs, nerveux, et peu aptes au vieillissement. L'Aligoté est utilisé pour la production de vins blancs secs ou effervescents. Suivant le terroir, le millésime et le niveau de production, ils sont plus ou moins aromatiques et peuvent présenter une typicité particulière.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les sept clones agréés d'Aligoté B portent les numéros 263, 264, 402, 651, 920, 935 et 936.

25788_vins_blancs.indb 56 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage originaire de la Bourgogne provient, d'après les analyses génétiques publiées, d'un croisement entre le Pinot et le Gouais B.

Photo 3.3 : Chardonnay B : feuille

Photo 3.4 : Chardonnay B : grappe

Tableau 3.3 : Chardonnay B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
7 325	9 805	13 042	19 869	33 070	42 017	46 419

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Chardonnay B est principalement cultivé en Bourgogne, Champagne, Jura et Languedoc-Roussillon.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 1 jour avant le Chasselas.
- Époque de maturité : 1re époque, 1 semaine et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Le Chardonnay B est taillé généralement à longs bois. Cependant, dans les zones climatiques favorables à l'initiation florale, il peut être aussi taillé court. Les terrains qui conviennent le mieux à ce cépage sont des sols moyennement fertiles à dominante calcaire ou marneux. En zone méditerranéenne, il convient d'éviter les situations de sécheresse trop intense.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Chardonnay B est sensible à l'oïdium et aux jaunisses à phytoplasmes. En revanche, il craint moins le mildiou. En fin de maturation et en situation de forte vigueur, les dégâts de pourriture grise peuvent être importants.

25788_vins_blancs.indb 57 13-10-11 12:23 PM

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes et les baies sont petites. Ce cépage possède un potentiel qualitatif très élevé et permet d'élaborer des vins blancs secs, des vins effervescents, et même des vins liquoreux. Les teneurs en sucre des baies peuvent atteindre des niveaux élevés tout en conservant une acidité importante. C'est ce qui permet d'obtenir des vins particulièrement bien équilibrés, puissants et amples (avec beaucoup de gras et de volume). Les arômes sont typiques, complexes et intenses (fruits secs, noisette, grillé, fruits exotiques, beurre, etc.). Le Chardonnay B se prête également bien à l'élevage et à la fermentation en barrique.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les trente-et-un clones agréés de Chardonnay B portent les numéros 75, 76, 77, 78, 95, 96, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 124, 125, 128, 130, 131, 132, 277, 352, 414, 415, 548, 549, 809, 1066, 1067, 1068, 1145, 1146 et 1147.

25788_vins_blancs.indb 58 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage est originaire du Val de Loire et vraisemblablement de l'Anjou.

Photo 3.5 : Chenin B : feuille

Photo 3.6 : Chenin B : grappe

Tableau 3.4 : Chenin B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
16 594	14 199	9 552	9 054	10 042	9 777	9 839

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Chenin B est principalement cultivé en Val-de-Loire mais on le rencontre également en Midi-Pyrénées et en Languedoc (Limoux).

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 1 jour avant le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 3 semaines à 3 semaines et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Le Chenin B est un cépage vigoureux et fertile dont le potentiel de production dépend beaucoup de la fertilité agronomique des sols où il est cultivé. Il se montre sensible au grillage. Le débourrement est précoce et après une gelée de printemps, les bourgeons secondaires se montrent très peu fertiles.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Chenin B est particulièrement sensible à la pourriture grise, à l'oïdium et aux maladies du bois. Il résiste mieux en revanche au mildiou, au black-rot et à l'anthracnose.

25788_vins_blancs.indb 59 13-10-11 12:23 PM

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes sont moyennes à grosses et les baies sont petites à moyennes. Ce cépage peut donner selon les conditions de culture et selon les terroirs (calcaires, schistes) soit des vins effervescents ou des vins secs, soit des vins liquoreux. Le potentiel d'acidité est important et les produits obtenus sont élégants, généralement assez vifs, nerveux, avec des arômes de miel.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les huit clones agréés de Chenin B portent les numéros 220, 278, 416, 417, 624, 880, 982 et 1018. Plus de deux cents clones sont installés dans un conservatoire du vignoble de l'Anjou depuis 1996.

25788_vins_blancs.indb 60 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage est d'origine provençale.

Photo 3.7: Clairette B : feuille

Photo 3.8: Clairette B : grappe

Tableau 3.5 : Clairette B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
14 099	12 544	5 331	3 898	3 157	2 564	2 284

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

La Clairette B est principalement cultivée en Provence, Drôme (Die) et Languedoc.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 8 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 3e époque, 4 semaines après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

La Clairette B est un cépage vigoureux, qui doit être taillé court et qui donne de meilleurs résultats sur des terrains calcaires, peu fertiles, maigres et secs. Il nécessite un ébourgeonnage soigné. Son port est demi-érigé et ses rameaux sont un peu sensibles au vent. À maturité, le pédoncule des grappes se lignifie.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Ce cépage est sensible aux vers de la grappe et aux acariens. La Clairette B est en revanche relativement moins sensible à l'oïdium et à la pourriture grise.

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes et les baies sont de taille moyenne. La Clairette B permet d'obtenir des vins assez alcooliques (et même parfois doux avec un passerillage ou une surmaturation), relativement peu acides, avec des arômes marqués (de pomme) et présentant parfois une légère dureté ou amertume en fin de bouche. Ce cépage permet également d'élaborer des vins effervescents.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les dix clones agréés de Clairette B portent les numéros 68, 69, 93, 94, 97, 98, 175, 207, 208 et 209.

25788_vins_blancs.indb 61 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage provient, d'après les analyses génétiques publiées, d'un croisement entre le Gouais B et le Chenin B.

Photo 3.9: Colombard B : feuille

Photo 3.10 : Colombard B : grappe

Tableau 3.6 : Colombard B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
13 105	11 892	5 829	4 911	6 740	7 459	8 654

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Colombard B est principalement cultivé dans le Sud-Ouest, en Charente et en Languedoc.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 2 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 3 semaines après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Le Colombard B est un cépage fertile, très vigoureux et productif. Il peut être taillé long ou court selon les objectifs de production. La taille est assez difficile car le bois du Colombard B est dur. À maturité, on peut remarquer parfois une certaine tendance à l'égrenage.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Ce cépage est un peu sensible à l'oïdium sur feuilles et à la pourriture grise à maturité des raisins.

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes et les baies sont de taille moyenne. Ce cépage permet d'élaborer des vins plaisants, aromatiques (famille des thiols), avec un bon support acide. Les eaux-de-vie obtenues à partir des vins de Colombard B sont de qualité moyenne et surtout utilisées en assemblage.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les douze clones agréés de Colombard B portent les numéros 551, 552, 553, 605, 606, 607, 608, 609, 625, 626, 695 et 938.

25788_vins_blancs.indb 62 13-10-11 12:23 PM

Cette variété correspond à la mutation rose et aromatique du Savagnin blanc B.

Photo 3.11 : Gewürztraminer Rs : feuille

Photo 3.12 : Gewürztraminer Rs : grappe

Tableau 3.7 : Gewürztraminer Rs : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
1 470	1 972	2 430	2 590	2 607	2 920	3 228

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Gewürztraminer Rs est principalement cultivé en Alsace.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : comme le Chasselas.
- Époque de maturité : 1re époque, 1 semaine et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Ce cépage de vigueur assez élevée, peu productif et sensible à la coulure, doit être taillé long. Assez exigeant vis-à-vis du terroir (marneux de préférence), le Gewürztraminer Rs est cependant sensible à la chlorose. Il est également sensible au dessèchement de la rafle. Ce cépage, relativement précoce, subit parfois les gelées de printemps mais résiste bien aux gelées d'hiver.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Gewürztraminer Rs est un peu sensible à l'oïdium, aux vers de la grappe et à la pourriture grise.

25788_vins_blancs.indb 63 13-10-11 12:23 PM

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes et les baies sont petites. Le Gewürztraminer Rs possède un bon potentiel d'accumulation des sucres et donne, dans les terroirs favorables, des vins de grande qualité, moyennement acides, corsés, généreux, avec des arômes très puissants et particuliers (rose, litchis). Ces arômes ont tendance à devenir plus lourds et moins élégants sous des climats chauds.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les huit clones agréés de Gewürztraminer Rs portent les numéros 47, 48, 643, 1075, 1076, 1077, 1078 et 1079.

25788_vins_blancs.indb 64 13-10-11 12:23 PM

Cette variété correspond à la mutation blanche du Grenache N et se rencontrait au départ surtout dans les provinces de Barcelone et Tarragone en Espagne.

Photo 3.13 : Grenache blanc B : feuille

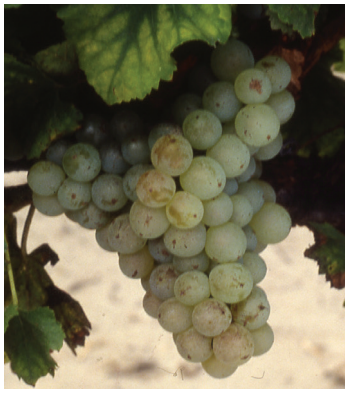


Photo 3.14 : Grenache blanc B : grappe

Tableau 3.8 : Grenache blanc B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
8 652	9 362	16 286	12 083	6 843	4 931	5 128

De 1958 à 1988 : Grenache blanc B et gris G.

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Grenache blanc B est principalement cultivé en Languedoc-Roussillon et en Provence.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 4 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 3 semaines et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Ce cépage semble être moins sensible à la coulure que le Grenache N et s'avère être un peu plus précoce. Il résiste bien au vent, possède un port érigé et se montre bien adapté aux conditions de sécheresse (sols graveleux, caillouteux). Le Grenache blanc B extériorise facilement, comme les autres types de Grenache, les symptômes de carence en magnésium.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Grenache blanc B est très sensible à la pourriture grise, à l'excoriose, au mildiou et aux maladies bactériennes. En revanche, il est peu attaqué par l'oïdium, les cicadelles des grillures et les acariens.

25788_vins_blancs.indb 65 13-10-11 12:23 PM

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes sont grosses alors que les baies sont moyennes. Le Grenache blanc B sert pour l'élaboration des vins doux naturels mais permet aussi d'obtenir des vins blancs secs intéressants, longs en bouche, possédant du gras et de l'ampleur mais manquant parfois un peu d'acidité.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les deux clones agréés de Grenache blanc B portent les numéros 141 et 143.

25788_vins_blancs.indb 66 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage est originaire du vignoble pyrénéen.

Photo 3.15 : Gros Manseng B : feuille

Photo 3.16 : Gros Manseng B : grappe

Tableau 3.9 : Gros Manseng B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
51*	59*	584*	1 051*	2 022	2 834	3 024

*: Gros et Petit Manseng

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Gros Manseng B est principalement cultivé dans le Piémont pyrénéen et le Gers.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : comme le Chasselas.
- Époque de maturité : 3e époque, 4 semaines après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Ce cépage vigoureux est assez fertile. Généralement conduit en taille longue, le Gros Manseng B peut aussi être taillé court.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Gros Manseng B est sensible à l'oïdium. La résistance à la pourriture grise est bonne et les raisins se conservent bien sur souche en vue de l'obtention de vins moelleux.

25788_vins_blancs.indb 67 13-10-11 12:23 PM

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes sont moyennes alors que les baies sont très petites. Ce cépage possède un bon potentiel d'accumulation de sucre tout en conservant une forte acidité. Il permet d'obtenir des vins secs ou moelleux d'un haut niveau qualitatif.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les huit clones agréés de Gros Manseng B portent les numéros 397, 439, 572, 634, 661, 662, 731 et 764.

25788_vins_blancs.indb 68 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage est originaire d'Espagne, probablement de Catalogne.

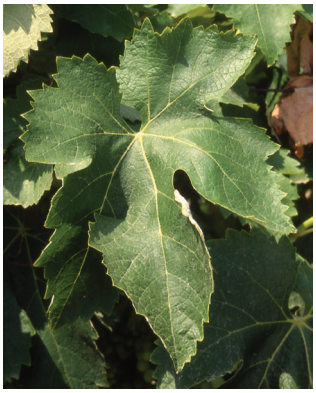


Photo 3.17 : Macabeu B : feuille

Photo 3.18 : Macabeu B : grappe

Tableau 3.10 : Macabeu B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
4 429	5 975	7 077	7 621	5 771	3 536	2 263

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Macabeu B est principalement cultivé dans le Roussillon.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 9 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 3e époque, 4 semaines après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Le Macabeu B est un cépage productif, vigoureux, à port érigé, qui doit être taillé court. Il se montre sensible au vent. Il faut également éviter de l'implanter dans les endroits frais et humides tout comme dans des sols trop secs, où il se montre sujet au folletage et à une chute des feuilles précoce.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Macabeu B est assez sensible aux acariens, à la pourriture grise et à la nécrose bactérienne.

25788_vins_blancs.indb 69 13-10-11 12:23 PM

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes sont très grosses et les baies sont moyennes à grosses. Selon les conditions de culture, le Macabeu B permet d'obtenir des vins blancs secs, effervescents ou encore des vins doux naturels. Les vins blancs secs et effervescents sont légers, agréables mais manquent souvent d'acidité et d'un peu de finesse. Les arômes (parfois des notes de fenouil) sont également peu intenses.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les dix clones agréés de Macabeu B portent les numéros 630, 631, 632, 633, 706, 735, 736, 737, 789 et 1025.

25788_vins_blancs.indb 70 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage est originaire des Côtes-du-Rhône septentrionales.

Photo 3.19 : Marsanne B : feuille

Photo 3.20 : Marsanne B : grappe

Tableau 3.11 : Marsanne B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
277	268	235	406	1 121	1 266	1 435

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

La Marsanne B est principalement cultivée en Vallée du Rhône et dans le Languedoc-Roussillon.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 9 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 2 semaines et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Ce cépage vigoureux, fertile et productif, doit être taillé court et réservé, de préférence, à des terroirs peu fertiles et caillouteux. La Marsanne B émet de longs rameaux qui nécessitent un palissage soigné et suffisant. Ce cépage assez rustique, à cycle court et à débourrement tardif, est bien adapté aux zones climatiques fraîches.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

La Marsanne B est sensible à l'oïdium, aux acariens et à la pourriture grise.

25788_vins_blancs.indb 71 13-10-11 12:23 PM

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes de Marsanne B sont grosses alors que les baies sont petites. La Marsanne B permet d'élaborer des vins blancs secs ou effervescents, assez élégants, moyennement ou peu acides, avec des arômes fins. Une production mal maîtrisée peut nuire fortement à la qualité du vin.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les trois clones agréés de Marsanne B portent les numéros 574, 1036 et 1083. Un conservatoire comprenant près de 250 clones a été implanté en 2001 dans les Côtes-du-Rhône.

25788_vins_blancs.indb 72 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage semble être originaire de la région de Gaillac (Tarn).

Photo 3.21 : Mauzac B : feuille

Photo 3.22 : Mauzac B : grappe

Tableau 3.12 : Mauzac B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
8 511	9 167	6 422	5 709	3 534	2 585	1 842

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Mauzac B est principalement cultivé en Languedoc (Limoux) et dans le Tarn (Gaillac).

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 7 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 3 semaines et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Le Mauzac B est un cépage de vigueur modérée, assez productif, qui doit être taillé court. Les grappes possèdent un pédoncule court. Ce cépage donne de bons résultats dans des sols argilo-calcaires ou calcaires.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Mauzac B est sensible aux acariens (en particulier à l'acariose), aux vers de la grappe, à l'excoriose, à l'eutypiose et à la pourriture grise. En revanche, il est peu sensible à l'oïdium et au mildiou.

25788_vins_blancs.indb 73 13-10-11 12:23 PM

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES

Les grappes et les baies sont moyennes. Le Mauzac B permet d'obtenir des vins blancs secs, moelleux ou effervescents. À maturation complète, le degré est assez élevé et les baies peuvent continuer à s'enrichir par surmaturation. L'acidité, en revanche, chute rapidement. Les vins manquent parfois de fraîcheur (sensibilité à l'oxydation) et peuvent présenter une certaine amertume. Les arômes dominants sont, en général, des arômes de pomme et parfois de poire.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les sept clones agréés de Mauzac B portent les numéros 575, 738, 739, 740, 741, 898 et 899.

25788_vins_blancs.indb 74 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage, originaire de la région Bourgogne-Franche-Comté, résulte d'après les analyses génétiques publiées d'un croisement entre le Pinot et le Gouais B.

Photo 3.23 : Melon B : feuille

Photo 3.24 : Melon B : grappe

Tableau 3.13 : Melon B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
8 516	9 517	9 482	11 346	12 988	12 844	11 157

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Melon B est principalement cultivé en Val-de-Loire (Loire-Atlantique).

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 2 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 2 semaines après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Ce cépage, à port demi-érigé, est relativement peu fertile sur les yeux de la base. Il doit être conduit en taille longue modérée ou éventuellement en taille courte. Le Melon B est bien adapté aux terroirs argilo-siliceux et aux zones assez fraîches.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Melon B est assez sensible au mildiou et très sensible à la pourriture grise. Il est en revanche peu sensible à l'oïdium et à l'eutypiose.

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes sont petites à moyennes et les baies petites. Le Melon B permet d'obtenir des vins équilibrés, frais, légers, agréables, et aux arômes discrets. Vinifié en blanc sec, il présente une bonne aptitude à la conservation sur lies.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les douze clones agréés de Melon B portent les numéros 177, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 441, 442, 443,1057 et 1120.

25788_vins_blancs.indb 75 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage est vraisemblablement d'origine grecque.

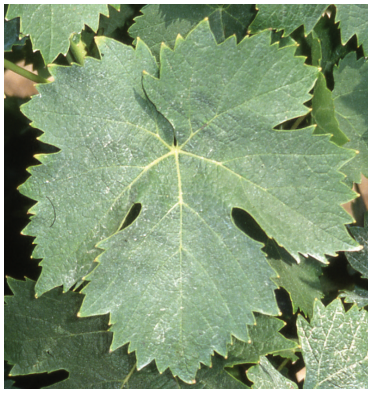


Photo 3.25 : Muscat à petits grains blancs B : feuille

Photo 3.26 : Muscat à petits grains blancs B : grappe

Tableau 3.14 : Muscat à petits grains blancs B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
2 297	3 032	3 720	4 639	6 058	7 370	7 734

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Muscat à petits grains blancs B est cultivé en Languedoc-Roussillon, Provence, Vallée-du-Rhône et Alsace.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : comme le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 2 semaines après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Ce cépage, de vigueur modérée à port érigé ou demi-érigé, doit être taillé court. Il est particulièrement bien adapté aux terroirs calcaires.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Muscat à petits grains blancs B est sensible à l'oïdium, à la pourriture grise et aux hyménoptères. Il est de plus très sensible aux acariens.

25788_vins_blancs.indb 76 13-10-11 12:23 PM

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes sont petites et les baies moyennes. Ce cépage permet d'élaborer des vins blancs secs, des vins doux naturels et des vins effervescents. Il peut être également utilisé en assemblage (avec un faible pourcentage) pour apporter des nuances aromatiques dans des vins neutres. Le Muscat à petits grains blancs B a un potentiel en sucre élevé avec un bon équilibre d'acidité et une saveur intense, puissante et délicate.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les treize clones agréés de Muscat à petits grains blancs B portent les numéros 154, 155, 156, 157, 452, 453, 454, 455, 576, 577, 578, 579 et 826.

25788_vins_blancs.indb 77 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage est d'origine méditerranéenne.

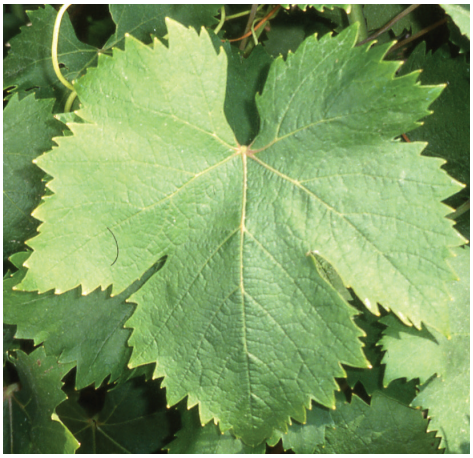


Photo 3.27 : Muscat d'Alexandrie B : feuille

Photo 3.28 : Muscat d'Alexandrie B : grappe

Tableau 3.15 : Muscat d'Alexandrie B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
2 142	3 170	3 127	3 162	2 981	2 923	2 636

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Muscat d'Alexandrie B est cultivé en Languedoc-Roussillon et Provence.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 6 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 3e époque, 4 semaines après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Le Muscat d'Alexandrie B est un cépage peu vigoureux, à port retombant. Il est généralement conduit en taille courte et en gobelet. Ce cépage est bien adapté à la sécheresse et aux terroirs graveleux, acides ou décalcifiés. Les vignes de Muscat d'Alexandrie B ont tendance à vieillir assez rapidement. Le Muscat d'Alexandrie B exige des sommes de température élevées pour une bonne maturation des raisins et pour l'aoûtement des bois.

25788_vins_blancs.indb 78 13-10-11 12:23 PM

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Muscat d'Alexandrie B est sensible à l'oïdium, à la pourriture grise et aux insectes.

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes sont grosses et les baies très grosses. Le Muscat d'Alexandrie B permet d'élaborer des vins doux naturels avec des arômes puissants, élégants et floraux. Le potentiel en sucre de ce cépage ne peut s'exprimer que dans les situations climatiques adaptées à ses exigences particulières. Le Muscat d'Alexandrie B peut également servir pour la production de vins secs, éventuellement effervescents, ou en assemblage pour apporter des arômes.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les cinq clones agréés de Muscat d'Alexandrie B portent les numéros 308, 635, 866, 979 et 1014.

25788_vins_blancs.indb 79 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage est originaire des Pyrénées-Atlantiques.

Photo 3.29 : Petit Manseng B : feuille

Photo 3.30 : Petit Manseng B : grappe

Tableau 3.16 : Petit Manseng B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1998	2008	2011
32	34	520	650	1 127

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Petit Manseng B est cultivé dans le Piémont pyrénéen.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 2 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 3e époque, 4 semaines et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Le Petit Manseng B est un cépage vigoureux qui doit être taillé long et palissé.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Ce cépage est très résistant à la pourriture grise.

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes sont petites et les baies sont très petites. Le Petit Manseng B est remarquable par sa très grande capacité à concentrer les sucres dans ses baies tout en conservant une acidité extrêmement élevée. Il permet ainsi d'élaborer naturellement des vins liquoreux très aromatiques et de grande qualité.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les quatre clones agréés de Petit Manseng B portent les numéros 440, 573, 1107 et 1113.

25788_vins_blancs.indb 80 13-10-11 12:23 PM

Cette variété correspond à la mutation blanche du Pinot noir N.

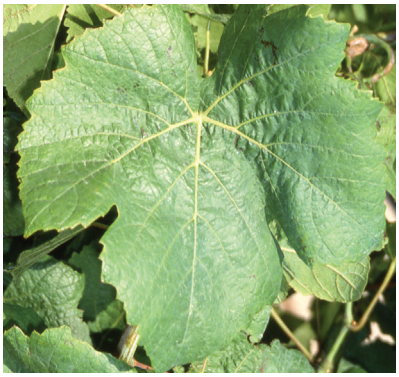


Photo 3.31 : Pinot blanc B : feuille

Photo 3.32 : Pinot blanc B : grappe

Tableau 3.17 : Pinot blanc B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
610	812	1 491	1 565	1 503	1 262	1 265

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Pinot blanc B est cultivé en Alsace principalement mais on le rencontre aussi en Bourgogne et Champagne.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 1 jour après le Chasselas.
- Époque de maturité : 1re époque, 1 semaine et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Le Pinot blanc B est un cépage assez vigoureux et de production régulière (plus productif que le Pinot gris G ou le Pinot noir N). Un peu sensible à la chlorose, il convient aux sols profonds, assez chauds, pierreux ou non. Le Pinot blanc B présente aussi une bonne résistance au froid.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Ce cépage est assez délicat car relativement sensible aux principales maladies.

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes sont petites à moyennes et les baies sont de petite taille. Le Pinot blanc B permet d'élaborer des vins agréables, légèrement corsés avec une acidité moyenne. Il peut servir également à l'élaboration de vins de base pour effervescents.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les deux clones agréés de Pinot blanc B portent les numéros 54 et 55.

25788_vins_blancs.indb 81 13-10-11 12:23 PM

Cette variété correspond à la mutation grise du Pinot noir N. Il est assez fréquent de rencontrer des variations avec la forme blanche sur une même souche, beaucoup plus rarement avec la forme noire.

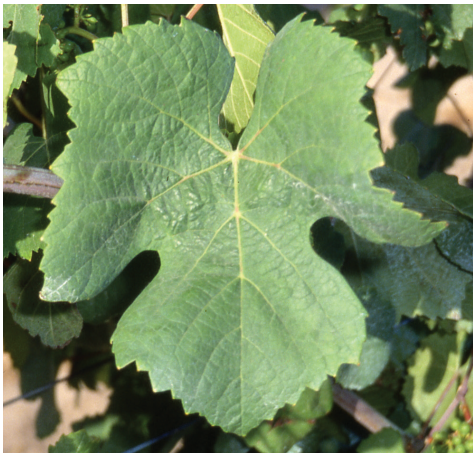


Photo 3.33: Pinot gris G : feuille

Photo 3.34: Pinot gris G : grappe

Tableau 3.18 : Pinot gris G : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
492	601	520	893	1 759	2 452	2 749

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Pinot gris G est principalement cultivé en Alsace.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 2 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 1re époque, 1 semaine et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Le Pinot gris G est un cépage assez vigoureux mais peu productif. Il se montre bien adapté aux zones septentrionales, aux terroirs calcaires assez profonds, relativement secs et bien exposés. Il est peu sensible aux froids de l'hiver et sa remise à fruit est bonne après une gelée de printemps.

25788_vins_blancs.indb 82 13-10-11 12:23 PM

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Ce cépage est un peu sensible à la pourriture grise et au mildiou.

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes et les baies sont petites ou très petites. Le Pinot gris G permet d'élaborer des vins d'une grande finesse, très puissants, corsés et aromatiques. Le potentiel d'accumulation des sucres est élevé chez ce cépage pour une acidité faible à moyenne. Les vins obtenus avec le Pinot gris G ont généralement une couleur jaune soutenue et possèdent des arômes spécifiques par rapport à ceux du Pinot blanc B.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les trois clones agréés de Pinot gris G portent les numéros 52, 53 et 457.

25788_vins_blancs.indb 83 13-10-11 12:23 PM

Cette variété correspond à la mutation blanche du Piquepoul noir N.

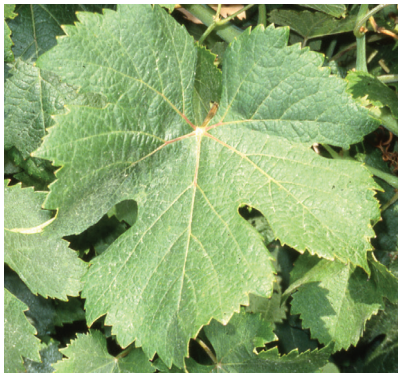


Photo 3.35 : Piquepoul blanc B : feuille

Photo 3.36 : Piquepoul blanc B : grappe

Tableau 3.19 : Piquepoul blanc B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
903	856	592	594	650	1 235	1 529

*: Piquepoul blanc et gris.

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Piquepoul blanc B est principalement cultivé en Languedoc.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 5 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 3e époque, 4 semaines et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Ce cépage fertile et productif doit être conduit en taille courte. Il est bien adapté aux terroirs argilo-calcaires et aux terrains sablonneux (il était cultivé autrefois franc de pied dans les sables du littoral méditerranéen). De maturité assez tardive, il doit être réservé aux zones méridionales chaudes.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Piquepoul blanc B est sensible à la pourriture grise.

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes sont grosses et les baies sont moyennes. Dans les terroirs appropriés, le Piquepoul blanc B permet d'élaborer des vins blancs secs typés, nerveux et agréables.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les quatre clones agréés de Piquepoul blanc B portent les numéros 176, 237, 238 et 463.

25788_vins_blancs.indb 84 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage, vraisemblablement originaire des bords du Rhin, est, d'après les analyses génétiques publiées, probablement un descendant du Gouais B.

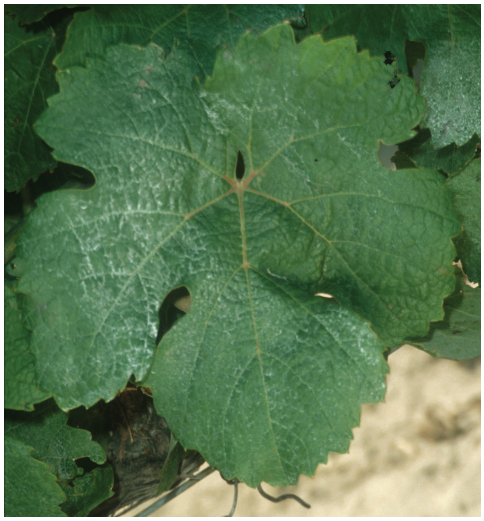


Photo 3.37 : Riesling B : feuille

Photo 3.38 : Riesling B : grappe

Tableau 3.20 : Riesling B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
787	1 047	2 195	2 918	3 404	3 423	3 525

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Riesling B est principalement cultivé en Alsace.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 5 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 3 semaines après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Le Riesling B résiste bien aux froids hivernaux et sa remise à fruit est bonne après une gelée de printemps. Ce cépage doit être taillé long et palissé. Il est un peu sensible au phénomène de dessèchement de la rafle. Ses terroirs de prédilection peuvent être variés (calcaire, granite) mais sont constitués plus particulièrement par des schistes.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Riesling B est sensible à la pourriture grise, à l'anthracnose et aux vers de la grappe. Sous certaines conditions, les attaques de pourriture grise sur les pédoncules peuvent conduire à des chutes précoces de raisins.

25788_vins_blancs.indb 85 13-10-11 12:23 PM

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes et les baies sont petites. Le Riesling B permet d'élaborer des vins blancs secs de grande qualité, très aromatiques, vifs et élégants. L'équilibre acide de ces vins est élevé. Ils peuvent se conserver et leur bouquet évoluer lentement vers des arômes de « pétrole » (hydrocarbures). Le Riesling B, en surmaturité ou en présence de pourriture noble, peut donner de grands vins liquoreux.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les huit clones agréés de Riesling B portent les numéros 49, 1089, 1090, 1091, 1092, 1094, 1096 et 1097.

25788_vins_blancs.indb 86 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage est originaire du Nord de la Vallée du Rhône.

Photo 3.39 : Roussanne B : feuille

Photo 3.40 : Roussanne B : grappe

Tableau 3.21 : Roussanne B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
71	54	51	120	767	1 074	1 629

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

La Roussanne B est principalement cultivée en Savoie, Vallée du Rhône et Languedoc-Roussillon.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 8 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 3 semaines et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

La Roussanne B émet des rameaux très longs, et, de ce fait, nécessite un palissage soigné. Elle peut être conduite en taille longue modérée ou en taille courte. Ce cépage convient bien aux sols pauvres argilo-calcaires assez pierreux et bien exposés.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

La Roussanne B est très sensible à l'oïdium, à la pourriture grise, aux acariens et aux thrips.

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES

Les grappes sont petites à moyennes et les baies sont petites. La Roussanne B donne des vins d'une grande finesse et complexité (arômes floraux et fruités de miel, d'aubépine, d'abricot), puissants, avec un bon équilibre acide et qui sont aptes au vieillissement. Ce cépage permet de mettre en valeur et de révéler de bons terroirs.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les cinq clones agréés de Roussanne B portent les numéros 467, 468, 469, 522 et 1040.

25788_vins_blancs.indb 87 13-10-11 12:23 PM

Le Centre de la France ou le Sud-Ouest sont les deux zones d'origine possibles de ce cépage.

Photo 3.41 : Sauvignon B : feuille

Photo 3.42 : Sauvignon B : grappe

Tableau 3.22 : Sauvignon B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
5 508	8 867	7 028	12 026	19 974	24 473	29 169

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Sauvignon B est principalement cultivé en Val-de-Loire, Bordelais, Sud-Ouest et Languedoc.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 7 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 2 semaines et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Le Sauvignon B est très vigoureux et a tendance à s'emporter en végétation. On doit donc surtout chercher à maîtriser cette vigueur en l'implantant dans des terroirs peu ou moyennement fertiles, en utilisant des porte-greffes faibles et en pratiquant une taille adaptée, pouvant être assez généreuse les premières années. Par un palissage soigné et un système de conduite adapté, on doit également chercher à obtenir un microclimat favorable pour les grappes.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Sauvignon B est très sensible à la pourriture grise (grappes compactes) et aux maladies du bois et sensible à l'oïdium. Il est en revanche peu sujet au mildiou.

25788_vins_blancs.indb 88 13-10-11 12:23 PM

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes et les baies sont petites. Le Sauvignon B permet d'élaborer des vins blancs secs très élégants, très fins, équilibrés et typés. Les arômes variétaux du Sauvignon B (famille des thiols), surtout présents dans le vin les premières années, sont assez spécifiques et peuvent présenter des nuances (genêt, cassis, buis...) selon le terroir, le millésime et les conditions de culture. En vendanges tardives ou en présence de pourriture noble, ce cépage peut également participer à l'élaboration de grands vins liquoreux.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les vingt clones agréés de Sauvignon B portent les numéros 107, 108, 159, 160, 161, 240, 241, 242, 297, 316, 317, 376, 377, 378, 379, 530, 531, 619, 905 et 906.

25788_vins_blancs.indb 89 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage est originaire du vignoble bordelais.

Photo 3.43 : Sémillon B : feuille

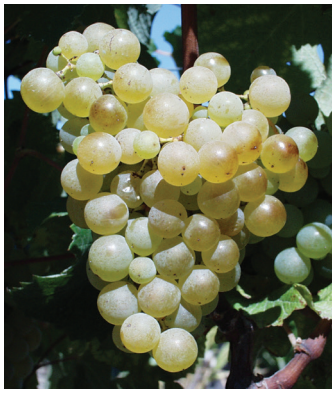


Photo 3.44 : Sémillon B : grappe

Tableau 3.23 : Sémillon B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
35 993	34 129	23 340	17 573	14 969	12 535	11 489

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Sémillon B est principalement cultivé dans le Bordelais mais se rencontre également en Provence.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 5 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 2 semaines et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

De vigueur moyenne et assez productif, le Sémillon B peut être conduit en taille longue modérée ou en taille courte. Ce cépage réagit particulièrement à la fertilité agronomique du milieu. Ses rendements peuvent varier énormément en fonction des terroirs. Il semble bien adapté aux sols graveleux ou argilo-calcaires.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Sémillon B est sensible à la pourriture grise, au black-rot (sur jeunes feuilles) ainsi qu'aux acariens et aux cicadelles. En revanche, il est peu sensible à l'oïdium et à l'eutypiose.

25788_vins_blancs.indb 90 13-10-11 12:23 PM

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES

Les grappes sont moyennes et les baies sont grosses. Le Sémillon B, dans des conditions de culture favorables et en vignes adultes avec des rendements maîtrisés, donne des vins blancs secs de grande qualité, avec beaucoup de gras, une acidité moyenne à faible. Ces vins peuvent être vinifiés en barrique et sont aptes au vieillissement. Le Sémillon B permet bien sûr d'élaborer de très grands vins blancs liquoreux.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les sept clones agréés de Sémillon B portent les numéros 173, 299, 315, 380, 908, 909 et 910.

25788_vins_blancs.indb 91 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage est originaire d'Italie (Toscane) où il est cultivé sous le nom de Trebbiano toscano.

Photo 3.45 : Ugni blanc B : feuille

Photo 3.46 : Ugni blanc B : grappe

Tableau 3.24 : Ugni blanc B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
62 399	93 762	127 468	102 973	96 740	83 182	82 986

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

L'Ugni blanc B est cultivé en Charente, Sud-Ouest et Provence.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 9 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 3 semaines et demie à 4 semaines après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

L'Ugni blanc B est un cépage très vigoureux qui s'adapte fort bien à des modes de conduite et des systèmes de taille très variés ainsi qu'à des conditions culturales et de milieu très diverses (aire géographique de culture très étendue). Il est préférable de palisser ce cépage car il se montre un peu sensible au vent.

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

L'Ugni blanc B est sensible au mildiou et à l'eutypiose. Il est aussi très sensible aux nématodes *Meloidogyne* lorsqu'il est cultivé franc de pied dans les sables. En revanche, il se montre assez peu sensible à l'excoriose et à la pourriture grise sur grappes.

25788_vins_blancs.indb 92 13-10-11 12:23 PM

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes sont très grosses alors que les baies sont petites à moyennes. Selon les conditions de production, il est possible d'élaborer avec l'Ugni blanc B des vins blancs secs, relativement neutres mais équilibrés. Il permet également d'obtenir des vins aptes à l'élaboration d'eaux-de-vie de grande qualité.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les onze clones agréés d'Ugni blanc B portent les numéros 384, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 638.

25788_vins_blancs.indb 93 13-10-11 12:23 PM

Ce cépage, cultivé en Corse et en Provence depuis très longtemps, semble être originaire d'Italie.

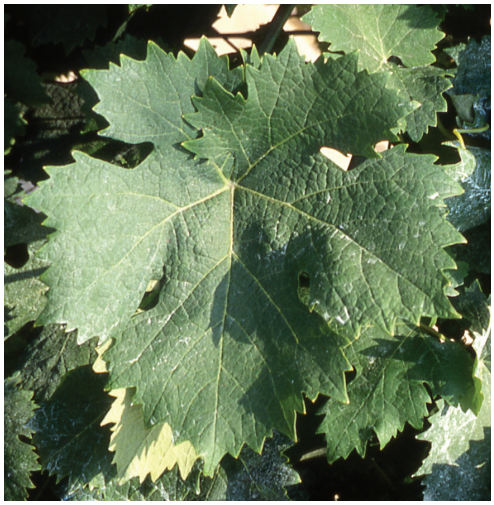


Photo 3.47 : Vermentino B : feuille

Photo 3.48 : Vermentino B : grappe

Tableau 3.25 : Vermentino B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1979	1988	1998	2008	2011
2 106	1 057	833	2 507	3 089	4 297

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Vermentino B est cultivé en Corse, Provence et Languedoc-Roussillon.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : 7 jours après le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 3 semaines et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

C'est un cépage assez productif et vigoureux qui doit être taillé court. Un palissage soigné est préférable afin de maintenir la végétation. Ce cépage méridional est bien adapté aux zones chaudes et aux terroirs secs et peu fertiles.

25788_vins_blancs.indb 94 13-10-11 12:23 PM

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Vermentino B est un peu sensible à la pourriture grise, moyennement sensible à la pourriture acide, et assez sensible à l'oïdium.

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes et les baies sont grosses. Le Vermentino B donne des vins blancs de qualité, agréables et de belle couleur pâle. Ces vins fins équilibrés et gras présentent une richesse aromatique intéressante (arômes floraux d'aubépine, fruités de poire...) même s'ils manquent parfois d'acidité.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les quatorze clones agréés de Vermentino B portent les numéros 639, 640, 766, 795, 856, 876, 912, 913, 914, 915, 963, 964, 1081 et 1082.

25788_vins_blancs.indb 95 13-10-11 12:23 PM

C'est un cépage autochtone des Côtes-du-Rhône septentrionales.

Photo 3.49 : Viognier B : feuille

Photo 3.50 : Viognier B : grappe

Tableau 3.26 : Viognier B : évolution des surfaces cultivées en France (ha)

1958	1968	1979	1988	1998	2008	2011
29	14	54	82	2 100	3 255	5 219

PRINCIPALES RÉGIONS VITICOLES

Le Viognier B est cultivé en Vallée du Rhône et Languedoc-Roussillon.

PHÉNOLOGIE

- Époque de débourrement : comme le Chasselas.
- Époque de maturité : 2e époque, 2 semaines et demie après le Chasselas.

APTITUDES CULTURALES ET AGRONOMIQUES

Ce cépage est généralement palissé (il est parfois un peu sensible au vent), conduit en taille longue modérée, avec une densité de plantation assez élevée. Cultivé traditionnellement en terroirs acides, il se montre bien adapté en zone méridionale aux sols suffisamment profonds (mais pas trop fertiles) pour éviter les risques de sécheresse. Son débourrement précoce l'expose aux gelées de printemps.

25788_vins_blancs.indb 96 13-10-11 12:23 PM

SENSIBILITÉ AUX MALADIES ET AUX RAVAGEURS

Le Viognier B ne présente pas de sensibilité particulière aux maladies. Il n'est pas trop sensible à la pourriture grise.

POTENTIALITÉS TECHNOLOGIQUES, TYPICITÉ AROMATIQUE ET QUALITÉ DES VINS

Les grappes et les baies sont petites. Le Viognier B par ses caractéristiques variétales permet, dans des conditions favorables, d'élaborer des vins très aromatiques (abricot, pêche…), complexes, puissants et de grande qualité. Il donne des vins chaleureux (potentiel d'accumulation des sucres élevé), gras mais manquant un peu d'acidité et présentant parfois une légère amertume. Il peut être aussi utilisé pour élaborer des vins moelleux, effervescents ou encore être associé (5, 10 % et autrefois plus) avec d'autres raisins (en particulier de la Syrah) pour obtenir des vins rouges auxquels il apporte finesse et arômes.

SÉLECTION CLONALE EN FRANCE

Les trois clones agréés de Viognier B portent les numéros 642, 1042 et 1051.

25788_vins_blancs.indb 97 13-10-11 12:23 PM

Autres cépages blancs

Il est difficile de décrire toutes les variétés blanches dans cet ouvrage. Il a fallu trier. Les rédacteurs ont donc choisi de n'en présenter qu'une vingtaine. Les autres cépages dont Alvarinho, Aranel, Arriloba, Arrufiac, Arvine, Baco blanc, Bourboulenc, Chasan, Folle blanche, Jacquère, Len de L'El, Montils, Muscadelle, Parellada, Romorantin, Sauvignon gris, Sylvaner, Terret blanc, Verdelho, se prêtent naturellement à l'élaboration de vins de qualité. Ils sont, ainsi que toutes celles inscrites au Catalogue officiel, décrites sur le site http://plantgrape.plantnet-project.org/.

Cépages de demain

La viticulture française doit faire face aujourd'hui à plusieurs défis. Elle est en effet une filière consommatrice de produits phytosanitaires et, comme les autres cultures, elle est déjà confrontée aux évolutions du climat qui pourraient engendrer de profondes modifications, notamment en zone méditerranéenne. De plus, notre viticulture doit faire face à une compétition accrue de la part d'autres pays (comme par exemple : Chili, Argentine, États-Unis, Australie, Afrique du Sud, etc.). Afin de répondre à ces défis, nous pouvons nous appuyer sur des outils déjà disponibles comme la création de génotypes présentant des résistances aux principaux bioagresseurs, mais également sur les avancées scientifiques permettant d'identifier les déterminismes génétiques des caractères d'intérêts. Ces connaissances constituent un socle solide pour de nouveaux programmes d'amélioration variétale chez la vigne et représentent certainement l'une des ressources pour s'adapter aux enjeux actuels.

Création variétale chez la vigne

Les méthodes restent mais les outils changent !

La création variétale chez la vigne n'est pas une voie d'amélioration nouvelle. Elle fut utilisée consciemment ou non pour améliorer les cépages depuis la domestication de la vigne. De tout temps, l'amélioration de la vigne se résume à deux méthodes encore utilisées actuellement ; seule leur mise en œuvre et les outils ont changé au cours du temps.

Méthode basée sur l'apparition naturelle de mutations dans les populations de vigne

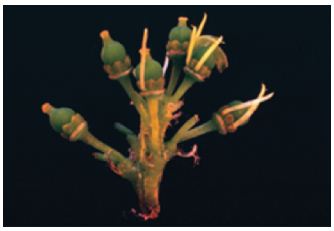
L'impact de ces mutations est repéré morphologiquement et quand ces mutations sont intéressantes, elles sont conservées/fixées et multipliées par simple bouturage ou greffage : c'est la sélection clonale. Dans ce cas, on a une conservation de l'identité variétale de la souche initiale. L'opération peut être répétée à l'infini ; par cette technique, certains cépages ont pu traverser les âges, quasiment inchangés, pour parvenir jusqu'à nous.

Méthode utilisant la reproduction sexuée

On sème un pépin qui est le résultat d'un croisement, naturel ou volontaire, entre deux géniteurs *via* le pistil de l'individu maternel et le pollen de l'individu paternel. On obtient ainsi une nouvelle plante, originale, distincte des deux parents et qui combine au hasard certains caractères parentaux.

25788_vins_blancs.indb 98 13-10-11 12:23 PM

a) Castration manuelle



b) Inflorescence castrée

c) Pollinisation manuelle

Photo 3.51. Fécondation artificielle

Cependant, les caractères ciblés étaient essentiellement des caractères à déterminisme génétique dit simple, définition qui correspond à des caractères contrôlés en général par une unique mutation, et facilement identifiables morphologiquement. Ce type de sélection est nommé « sélection empirique ».

Actuellement, la méthodologie de transfert de gènes (organisme génétiquement modifié, OGM) constitue une troisième voie potentielle d'amélioration, mais elle n'a pas encore été utilisée pour la création variétale chez la vigne. Ces technologies sont seulement utilisées en laboratoire pour répondre à des questions d'ordre scientifique sans but commercial.

Au XXe siècle, les lois de l'hérédité sont connues et diffusées ; des modèles statistiques sont développés pour estimer l'attendu dans un croisement contrôlé. Les caractères étudiés ne sont plus à déterminisme génétique simple, mais complexe. Cette révolution permet de mener des programmes scientifiques de création de nouveaux cépages basés sur des analyses génétiques rationnelles. Ces innovations sont faites principalement par des instituts de recherche et non plus par des viticulteurs ou des amateurs éclairés. Ce sont surtout des raisins de table qui sont créés, car l'innovation dans ce secteur est plus facilement acceptée. La réussite de cette période d'hybridation est quantifiable au travers du nombre de cépages obtenus, avec des variétés comme le Cardinal, l'Italia, le Red Globe, le Centennial seedless, le Danlas ou le Prima que l'on trouve actuellement dans le commerce.

Connaissance de l'ADN, des polymorphismes moléculaires et de leurs impacts sur la variabilité des cépages (quatrième période)

Dans la période suivante, l'ADN est découvert ainsi que son rôle dans le déterminisme des caractéristiques d'une plante. Les différences observées (ou polymorphismes) entre deux individus au niveau de leurs séquences d'ADN sont directement corrélées avec la morphologie, la phénologie et la composition organique de la plante. Ces polymorphismes sont visualisables grâce au développement d'une nouvelle discipline scientifique, la Biologie moléculaire, qui permet de multiplier *in vitro* l'ADN et de comparer des régions du génome de plusieurs individus (*figure 3.1*).

Avec ces nouveaux outils moléculaires, le choix des parents et la sélection des descendants se fait sur la base de la présence ou de l'absence de certains polymorphismes, même sans avoir observé les caractères ciblés chez ces individus, mais en se référant seulement à des études menées préalablement aux croisements. L'utilisation de ces polymorphismes moléculaires en

25788_vins_blancs.indb 99 13-10-11 12:23 PM

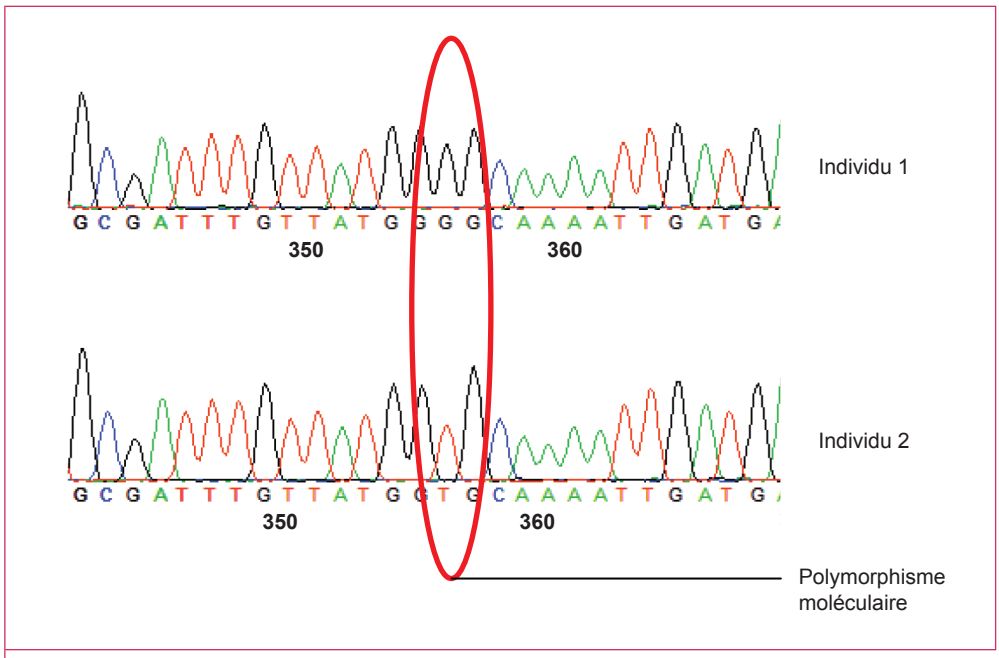


Figure 3.1 : Polymorphisme moléculaire

sélection correspond à la transition entre « la sélection empirique » et « la sélection assistée par marqueur ». Une limite de cette approche est que seuls les caractères pour lesquels des polymorphismes « fonctionnels » ont été identifiés sont sélectionnables.

Outils actuels pour créer de nouvelles variétés de vigne

Décryptage complet du génome de la vigne

La morphologie d'une variété, la composition de sa baie, son niveau de résistance aux bio-agresseurs ou encore sa capacité d'adaptation aux différents environnements sont préprogrammés par la séquence « personnelle » de son ADN. Chaque variété, comme chaque organisme vivant, possède en effet une séquence qui lui est propre. Cependant, l'organisation globale de cette séquence est spécifique d'une espèce (« le génome »). Pour la vigne cultivée (*Vitis vinifera* L.), le décryptage du génome a été publié à deux reprises en 2007. Même si cet effort représente une avancée majeure pour la recherche et donc à plus long terme pour la création variétale, ce décryptage ne permet pas directement d'avoir accès aux mutations fonctionnelles utilisables en sélection. Il est nécessaire pour cela de réaliser des études complémentaires en vue d'obtenir une connaissance étendue de la diversité moléculaire présente chez un nombre important de cépages pour l'utiliser ultérieurement.

25788_vins_blancs.indb 100 13-10-11 12:23 PM

Diversité disponible, un réservoir d'innovation

Le décryptage du génome de la vigne permet d'accélérer l'identification de polymorphismes localisés le long du génome et de chercher des corrélations avec des caractères intéressants. Néanmoins, pour avoir accès à un grand nombre de mutations, on doit disposer d'un grand nombre de cépages avec des origines les plus diverses possibles. Les conservatoires de vigne, comme celui du Domaine INRA de Vassal (Hérault), constituent donc naturellement des ressources indispensables aux généticiens, puisqu'ils représentent autant de réservoirs de diversité génétique.

Vers une révolution, la sélection génomique

L'une des limites de la sélection utilisant l'information génétique est le nombre de polymorphismes fonctionnels connus. Pour pallier ce déficit de connaissances, un nouvel outil, utilisé avec succès dans la sélection animale, est en cours d'évaluation chez la vigne : la sélection « génomique ». Cette puissante approche biostatistique apparaît comme très novatrice dans le monde de la création variétale puisqu'elle ne nécessite pas l'identification de polymorphismes fonctionnels pour améliorer un caractère ciblé. Elle repose uniquement sur l'observation de la présence ou de l'absence d'un grand nombre de mutations (entre 50 000 à 100 000). À partir de cette information à l'aide des modèles mathématiques une prédiction de la valeur génétique des individus est possible et cela sans chercher l'identification de polymorphismes moléculaires fonctionnels et les caractères d'intérêt. Si cette approche prouve son efficacité chez la vigne, le nombre de caractères améliorables sera significativement augmenté.

Conclusion et perspectives

L'innovation en viticulture est depuis toujours associée à la création variétale. Les possibilités d'obtenir des variétés très proches de celles voulues ont évolué avec les avancées de la recherche scientifique, sans perdre de vue que le matériel végétal créé doit correspondre à la demande des viticulteurs, répondre à leurs préoccupations et être en adéquation avec les attentes des consommateurs. Cette dernière motivation a d'ailleurs été le moteur de la création au cours du temps, que ce soit pour domestiquer la vigne, adapter sa culture à d'autres environnements ou pour résister à des bioagresseurs en l'absence de produits phytosanitaires. La création variétale reste une source importante d'innovation pour répondre aux besoins de la viticulture. Elle dispose aujourd'hui de nouveaux outils qui lui permettront de créer des cépages plus rapidement et de mieux cibler les individus sélectionnés. Le dialogue entre tous les acteurs de la viticulture doit donc maintenant être approfondi afin de définir ensemble les caractéristiques des cépages de demain.

25788_vins_blancs.indb 101 13-10-11 12:23 PM

9 Systèmes de conduite et techniques viticoles au service de la composition des raisins et des vins

Influence des modes de conduite sur la composition des raisins et des vins blancs

Le système de conduite est défini comme l'ensemble des critères qui détermine l'architecture du cep et du vignoble : la densité et la géométrie de plantation, la hauteur du tronc et la taille de formation, la taille de renouvellement, le mode de palissage et les opérations en vert. Un grand nombre de systèmes se sont développés au cours de l'histoire de la viticulture (Carbonneau et Cargnello, 2003). Chacun répond à une volonté d'adaptation par l'homme de la culture de la vigne, aux conditions du milieu (le sol, le climat), à l'objectif de production et à sa rentabilité. L'essor de la mécanisation a entraîné une évolution importante des architectures de plante au sein des vignobles. Aujourd'hui, le vignoble français est composé d'une vingtaine de systèmes de conduite différents. Le plus important est l'espalier palissé verticalement.

L'architecture du feuillage et sa densité contribuent à l'interception du rayonnement et conditionnent l'activité de photosynthèse. Celle-ci entraîne l'assimilation du carbone atmosphérique et l'utilisation de l'eau disponible dans le sol pour la production de sucres. Ces sucres seront entraînés vers différents « puits » métaboliques en fonction du cycle de la vigne : la croissance des organes herbacés, la mise en réserve, la maturation des fruits.

Il est capital de s'intéresser aux indicateurs qui renseignent de la performance d'un système de conduite. Ceux-ci sont des outils qui permettent le pilotage de la production et donc dans une certaine mesure de sa qualité.

La densité de plantation (nombre de pieds par hectare) et le rendement (en hectolitres de vin par hectare) sont très couramment employés pour caractériser dans les usages et de manière simple les systèmes de conduite. Ces deux indicateurs sont cependant insuffisants car ils ne renseignent que partiellement de l'activité photosynthétique de la vigne. Le rendement exprimé en hectolitres par hectare, d'un point de vue agronomique, n'a pas de sens pour caractériser une production viticole car il englobe les opérations de transformation des raisins qui, elles-mêmes, peuvent être variables en fonction des styles de vins à réaliser. Il est ainsi préférable d'évaluer une charge en raisins supportée par la vigne pendant la phase de maturation exprimée en kilogramme par hectare (kg/ha). De nombreux travaux, notamment publiés dans le cadre

25788_vins_blancs.indb 102 13-10-11 12:23 PM

des rencontres du GiESCO (Group of International Experts of vitivinicultural Systems for coOperation), s'accordent pour considérer la surface foliaire et son exposition à la lumière et la température comme un critère essentiel. La mesure de la surface foliaire exposée, qui s'exprime en mètre carré par hectare (m^2/ha) (Carbonneau, 1995), peut être simplifiée par une mesure simple du gabarit de la végétation appelée surface externe du couvert végétal (SECV) (Murisier, 1996) (*figure 3.2*).

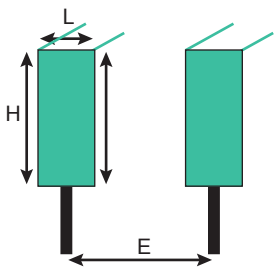
Cette mesure peut être mise en relation avec la production de raisin (PR) pour établir un indice agronomique qui renseignera sur le fonctionnement du système de conduite : l'indice SECV/PR. Il représente des mètres carrés de feuilles exposées pour produire des kg de raisins.

L'indice SECV/PR peut être mis en relation avec les processus physiologiques de la vigne : croissance, mise en réserve et maturation des raisins. Un indice SECV/PR de 1 m^2/kg est favorable à une bonne maturité des raisins de Chasselas en Suisse (Zufferey et Murisier, 1997). On retrouve les mêmes niveaux d'indice pour la maturité du Colombard dans le vignoble des Côtes de Gascogne (*figure 3.3*).

Cet indice influence également la mise en réserve du carbone dans la plante jusqu'à la récolte, sous forme d'amidon et sucres solubles. Un optimum est atteint lorsque l'indice se situe à 1,5 m^2/kg (Zufferey *et al.*, 2012).

Il est important de considérer que la relation entre le niveau de maturité et l'indice est sous la dépendance de l'alimentation hydrique et azotée de la vigne. Dans les situations décrites ci-dessus, la vigne est en situation de déficit hydrique faible à modéré. On peut dans ces conditions considérer l'indice SECV/PR comme robuste pour maîtriser la maturité des raisins blancs en s'affranchissant de l'effet millésime. On retrouve ces situations dans les vignobles implantés dans des sols profonds à bonne réserve en eau, dans les vignobles sous influences climatiques humides ou conduits sous irrigation contrôlée. Dans les conditions induisant de la contrainte hydrique plus forte, la maturité des raisins, bien que toujours liée à l'indice SECV/PR, sera variable d'un millésime à l'autre (Dufourcq *et al.*, 2005) en fonction des niveaux de contraintes atteints, mais aussi de la régulation stomatique de la plante qui freine l'activité de photosynthèse et ainsi l'accumulation des sucres au cours de la maturation des raisins.

Les indices SECV/PR rencontrés dans les vignobles français sont très variables (de 0,5 à 3 m^2/kg) (*tableau 3.27*). Les vignobles septentrionaux présentent des indices généralement plus élevés en raison d'une surface foliaire développée plus grande pour favoriser l'interception du rayonnement. Dans les vignobles méridionaux, les rendements sont limités par les conditions du milieu, température et contrainte hydrique. Pour les vignobles d'appellation, il est recommandé de se situer au moins à 1,2 m^2/kg pour assurer une production qualitative avec une maturité satisfaisante et un équilibre favorable à la durabilité de la plante (Cahurel *et al.*, 2006).



$$SECV = \frac{(2 \times H + L)}{E} \times 10\,000\ m^2/ha$$

Si le couvert végétal est très hétérogène (pieds manquants, grosse fenêtre dans la végétation), il convient d'établir un pourcentage de trou dans la végétation (T = % de trous).

$$SECV = \frac{(2 \times H + L) \times (1\text{-}T)}{E} \times 10\,000$$

Figure 3.2: Calcul de la surface externe du couvert végétal (SECV)

25788_vins_blancs.indb 103 13-10-11 12:23 PM

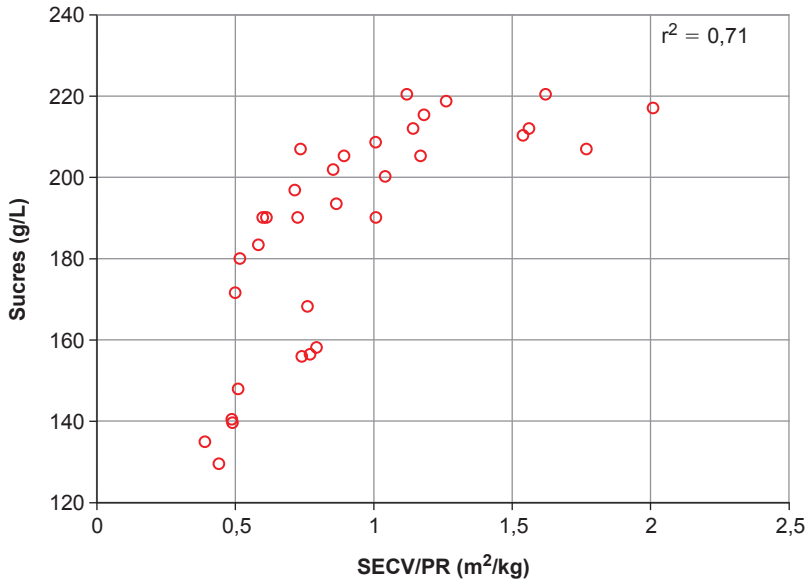


Figure 3.3 : Évolution de la concentration en sucres des raisins au moment de la récolte sur une parcelle de Colombard en fonction de l'indice SECV/PR au cours de 5 millésimes (1999-2004)

Tableau 3.27 : Indice SECV/PR estimé dans les principaux vignobles blancs français

Vignoble	Cépage	Segment de production	Densité de plantation (pieds/ha)	SECV estimée (m²/ha)	Rendement estimé (kg/ha)	SECV/PR (m²/kg)
Alsace	Riesling	AOP	5 500	16 000	10 000	1,6
Bordeaux	Sémillon	AOP	5 000	15 500	9 000	1,7
Bourgogne	Chardonnay	AOP	10 000	20 000	6 500	3,1
Champagne	Chardonnay	AOP	7 500	16 500	11 000	1,5
Muscadet	Melon	AOP	7 000	18 000	8 000	2,2
Touraine	Sauvignon	AOP	6 600	17 000	8 000	2,1
Languedoc	Sauvignon	IGP	4 000	13 000	10 000	1,3
Gascogne	Colombard	IGP/SIG	4 000	13 000	15 000	0,9
Charente	Ugni blanc	*	3 000	8 500	15 000	0,6

AOP : appellation d'origine protégée ; IGP : indication géographique protégée ; SIG : sans indication géographique
* : production de raisins pour AOP Cognac

25788_vins_blancs.indb 104 13-10-11 12:23 PM

Valorisation du potentiel viticole par les pratiques culturales

Travaux en vert : ébourgeonnage, écimage, effeuillage, éclaircissage

Les techniques d'intervention en vert ont une grande importance pour piloter la qualité des raisins blancs. Elles permettent de maîtriser la charge en raisins portée par la vigne lorsqu'elle est imposée par les cahiers des charges des appellations. Elles permettent en outre de modifier le microclimat au niveau de la zone des grappes en les exposant plus au moins au rayonnement solaire, à la température, au vent. De manière générale, les opérations qui réduisent la charge en raisin entraîneront une augmentation de la maturité par augmentation de l'indice sucre/acidité. Les opérations qui exposent les raisins au rayonnement entraîneront des modifications métaboliques au niveau de la baie qui seront favorables ou défavorables en fonction des cépages et des styles de vins recherchés. La diminution de l'entassement, du feuillage ou des raisins, sera favorable au maintien de l'état sanitaire qui est primordial pour la production de vins blancs qualitatifs.

Ébourgeonnage

L'ébourgeonnage est une technique efficace qui permet à la fois de limiter le nombre de rameaux fructifères par plante et également de faire varier le microclimat en limitant l'entassement de la végétation. C'est une opération à réaliser manuellement, destinée au vignoble à forte valorisation.

Écimage

L'écimage est une technique mécanisée qui permet de contrôler le gabarit de la végétation en vigne palissée. Il permet d'intervenir sur la hauteur de feuillage qui elle-même conditionne la surface foliaire exposée donc en conséquence la photosynthèse et au final la qualité des raisins. L'écimage est aussi une technique de contrôle de l'épaisseur de la végétation facile à mettre en œuvre. Une épaisseur maîtrisée ($<$ 0,5 m) est favorable pour l'aération des grappes et le maintien d'un état sanitaire satisfaisant.

Effeuillage

L'effeuillage, qui consiste à enlever la totalité ou une partie des feuilles, généralement de la zone fructifère, est réalisable tout au long du cycle de la vigne. Il répondra à différents objectifs en fonction du stade phénologique de sa mise en œuvre. Cette pratique, mécanisable depuis plusieurs années, est utilisée aujourd'hui dans la plupart des régions viticoles du monde entier avec le souci d'améliorer la qualité de la vendange. De nombreuses expérimentations menées par l'Institut français de la vigne et du vin (IFV) sur l'effeuillage ont démontré l'impact de la technique sur la qualité des raisins (Serrano *et al.*, 2009).

D'un point de vue sanitaire, quel que soit le stade d'application, l'effeuillage limite le développement de la pourriture grise (*Botrytis cinerea*) sur les raisins. Ceci s'explique par l'aération de la zone des grappes. La meilleure efficacité est obtenue avec un effeuillage précoce, préférentiellement à la nouaison. Parallèlement, il est acquis que l'exposition des grappes à la lumière est un facteur défavorable à la croissance des filaments mycéliens de l'oïdium de la vigne (*Erisyphe necator*) et permet donc de limiter son développement.

25788_vins_blancs.indb 105 13-10-11 12:23 PM

Photo 3.52 : Effeuillage sur une face côté soleil levant sur vigne de Colombard
Source : IFV Sud-Ouest

L'effeuillage améliore l'homogénéité de la maturation. Il engendre une meilleure régularité du taux de véraison. En année difficile, l'exposition des grappes à la lumière est un facteur favorable à l'évolution de la maturation. Les techniques d'effeuillage augmentent cependant le potentiel polyphénolique des baies de raisins. Certains cépages blancs produisent plus ou moins de composés phénoliques en lien avec la vigueur des souches et leur alimentation azotée. Les acides phénols générés peuvent potentiellement entrer dans des mécanismes d'oxydations au moment de la récolte ou au cours des opérations préfermentaires si la protection des jus n'est pas optimale, et ainsi modifier le style de vin attendu en pénalisant leurs profils aromatiques. Il est capital de raisonner la technique en relation avec les bénéfices (état sanitaire, maturité) et les risques (principalement oxydatif).

L'exposition de la baie de raisins au rayonnement solaire entraîne des modifications métaboliques au cours de la maturation. L'éclairement de la baie mais aussi la variation de température au cours de la journée sont des facteurs qui vont entraîner la synthèse ou la disparition de molécules qui peuvent impacter la qualité des vins blancs. Les avancées de la recherche ont permis ces dernières années d'étudier des composés traces qui, au final, interviendront dans l'arôme des vins. On retrouve dans ces composés des arômes libres dans les raisins, comme des terpènes et des pyrazines que l'on retrouve ensuite dans les vins, mais aussi des formes précurseurs d'arômes comme les précurseurs de thiols variétaux et les précurseurs glycosidiques de terpènes ou de norisoprénoïdes.

L'effeuillage favorise la dégradation de la 2-isobutyl-3-méthoxypyrazine, molécule pouvant conférer aux vins des notes de poivron vert. Cette dégradation est d'autant plus grande que

25788_vins_blancs.indb 106 13-10-11 12:23 PM

l'effeuillage est réalisé précocement et sur les deux faces du rang. Les méthoxypyrazines, présentes notamment dans les Sauvignon, sont plus ou moins recherchées en fonction des styles de vins. La technique se justifie pour contrôler son expression si nécessaire.

L'exposition des grappes au rayonnement favorise la synthèse des précurseurs de terpènes et de norisoprénoïdes responsables des arômes floraux et muscatés lorsqu'ils sont libérés dans les vins. Ces résultats sont obtenus sur des cépages de la famille des Muscat (Belancic *et al.*, 1997) mais aussi sur des cépages sans terpènes libres comme le Melon B en Muscadet (Schneider *et al.*, 2002 ; Dufourcq *et al.*, 2007). Une exposition trop importante des raisins a toutefois tendance à diminuer la synthèse de ces précurseurs. L'effeuillage modéré de la zone des grappes, sur une face du rang côté soleil levant, apparaît comme un outil intéressant de gestion de l'environnement lumineux des grappes en améliorant l'éclairement global, tout en protégeant les grappes des effets négatifs de leur exposition en fin de journée. Il conduit aussi à une constance dans l'obtention de composés précurseurs d'arômes. Le gain en précurseurs est significatif par rapport au témoin non effeuillé. Une exposition plus importante des grappes (cas de l'effeuillage sur les deux faces) entraîne des effets qui seront dépendants des conditions climatiques du millésime, parfois bénéfiques, parfois pénalisants (*figure 3.4*).

La quantité de précurseurs cystéinylés des thiols variétaux dans les raisins n'est pas pénalisée par la pratique de l'effeuillage (Choné, 2001). Elle peut même améliorer le potentiel aromatique des vins selon le millésime, comme observé avec le Colombard (Dufourcq *et al.*, 2007). L'effeuillage favorise préférentiellement les concentrations en 3-mercaptohexanol, responsable des arômes de pamplemousse et fruits tropicaux (*figure 3.5*). Pour la production de style de vins sur les thiols variétaux, cette technique est recommandable dans le cas de vignes vigoureuses, où le risque sanitaire est important.

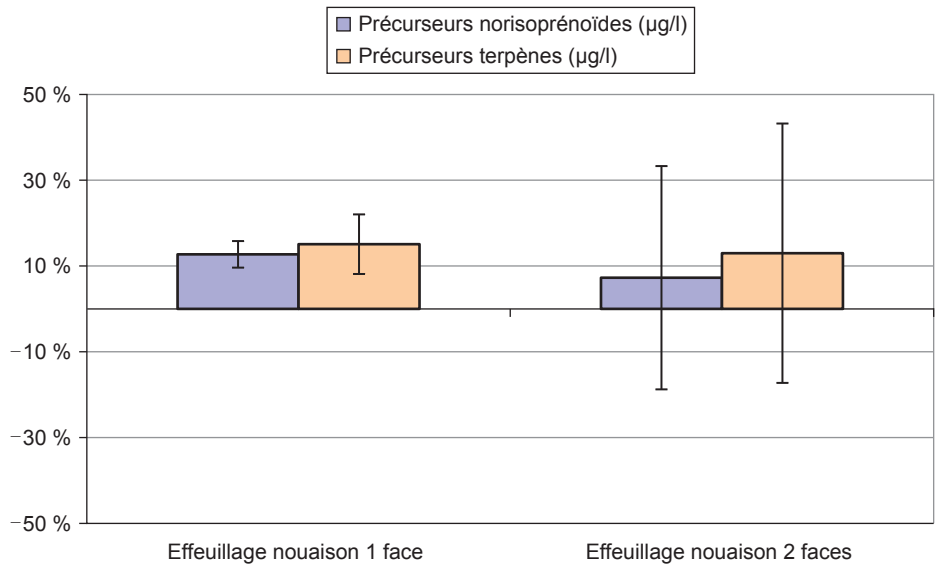


Figure 3.4: Influence de l'effeuillage sur la composition des raisins en précurseurs glycosidiques à la récolte : % gain en norisoprénoïdes et terpènes conjugués par rapport à un témoin non effeuillé – Moyenne des millésimes 2003 à 2006, cépage Melon B

25788_vins_blancs.indb 107 13-10-11 12:23 PM

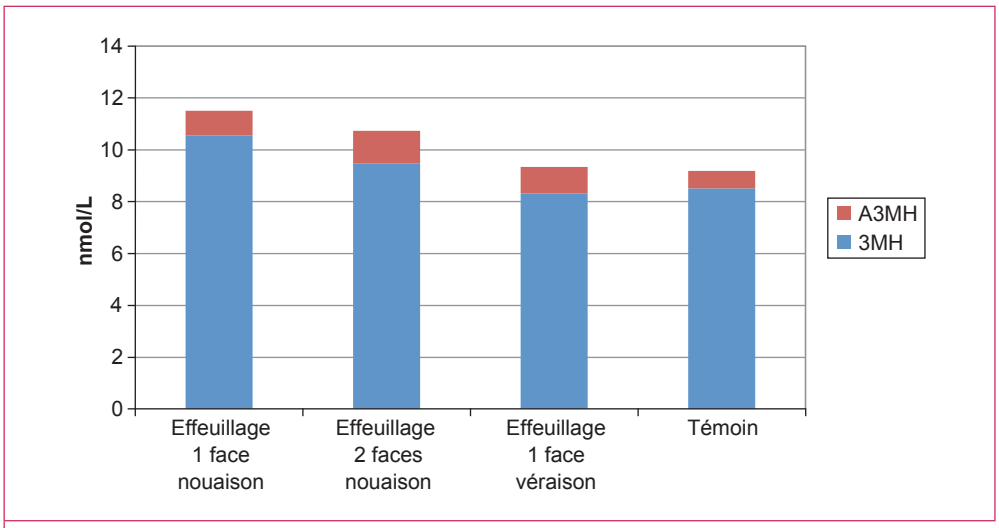


Figure 3.5 : Influence de l'effeuillage sur la composition des vins en thiols : 3-mercaptohexanol (3MH) et en 3-mercaptohexyl acétate (A3MH) – Moyenne des millésimes 2003 à 2005, cépage Colombard

Plus récemment, des travaux en Italie ont montré que l'effeuillage réalisé de manière précoce (avant floraison) entraîne une modification de la morphologie des grappes par diminution du taux de nouaison. Les grappes obtenues sont plus petites et plus lâches, les baies également sont plus petites et le rapport pulpe sur pellicule est affecté en faveur de cette dernière. Les conséquences positives sont une meilleure efficience de l'activité de photosynthèse de la plante pendant la phase de maturation et une augmentation de l'indice SECV/PR (Poni *et al.*, 2006). Cette approche répond à un objectif de maîtrise du rendement dans les vignobles à forte valorisation (*tableau 3.28*).

Tableau 3.28 : Influence d'un effeuillage préfloraison sur le taux de nouaison, la composition de la récolte, la composition du moût ; cépage Trebbiano (Ugni blanc) (d'après Poni *et al.*, 2006)

Cépage Trebbiano (Ugni blanc)	Taux de nouaison (%)	Nombre de baies par grappe	Poids moyen de la grappe (g)	Poids moyen de la baie (g)
Témoin	42,7	201	400	1,97
Effeuillage préfloraison	27,5	111	201	1,86

Éclaircissage

L'éclaircissage ou dégrappage est une technique efficace pour maîtriser le rendement. C'est une opération manuelle destinée aux vignobles à forte valorisation. Cette technique permet de maintenir l'indice SECV/PR en relation avec l'objectif de production. Elle sert donc à préserver le niveau de maturité des raisins. Pour une meilleure efficacité, cette opération doit être réalisée entre fermeture de grappe et véraison pour éviter les phénomènes de compensation observée par augmentation du poids moyen de la grappe si l'intervention est plus précoce.

25788_vins_blancs.indb 108 13-10-11 12:23 PM

Entretien du sol et fertilisation

Aujourd'hui, les enjeux associés à l'entretien des sols et à la fertilisation dépassent la simple volonté de maîtrise de la qualité de la production des raisins blancs. L'impact environnemental, la préservation des sols et la qualité des eaux de surface ou d'infiltration sont des facteurs à prendre en considération dans un objectif de production durable. Il est donc essentiel de promouvoir une viticulture qui limitera l'utilisation des intrants pour le fonctionnement de l'agrosystème viticole, que ce soit les herbicides ou les fertilisants minéraux. L'entretien du sol a pour objectif la régulation de son statut acido-basique et de son niveau en matière organique qui agit sur ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. La couverture du sol et son entretien joueront un rôle important dans les interactions avec la vigne que ce soit en positif (structuration des sols, limitation de l'érosion, portance, restitution des nutriments) ou en négatif (compétition pour les ressources). La fertilisation a pour objectif de fournir à la plante les éléments nutritifs nécessaires à son développement. Ils seront fonction de la vigueur et du rendement visé, de l'âge des vignes et de la fertilité des sols. Il est essentiel de faire appel à des éléments objectifs de diagnostic (visuel, analytique, par capteur, par modélisation) pour raisonner au mieux les apports (Institut français de la vigne et du vin, brochures techniques « Fertilisation de la vigne », en ligne). De manière générale, toute carence (manque en un élément) ou toxicité (excès en un élément) entraîne des dysfonctionnements qui peuvent se répercuter sur la quantité et la qualité des raisins.

Pour la production de vins blancs, il s'agit d'être particulièrement attentif aux processus hydro-azotés du sol et de la vigne qui peuvent jouer un rôle prépondérant en fonction du style de vin que l'on veut réaliser.

Des travaux en Suisse ont montré que l'enherbement permanent de la vigne dans certaines conditions pédo-climatiques pouvait entraîner une concurrence importante et au final avoir des effets négatifs sur la qualité des vins (Maigre *et al.*, 1995). On retrouve ce même type de résultats en Allemagne où les vins issus de vignes sous stress hydro-azotées présentent des notes de vieillissement atypiques associées à la présence de 2-aminoacétophénone qui se caractérisent par la perception négative en dégustation de notes de fleur d'acacia, de linge humide sale, ou de naphtaline.

L'expression aromatique fruitée des vins, et notamment des vins blancs, est liée à la composition azotée des moûts. Elle conditionnera la révélation en fermentation de composés aromatiques secondaires (*cf.* p. 28). Dans ces conditions, la concentration en azote des raisins est un critère à prendre en considération au même titre que la maturité ou l'état sanitaire pour évaluer la qualité d'une matière première arrivant au chai. Au vignoble, il est possible d'agir sur la richesse azotée des raisins. Il est bien connu qu'un haut niveau d'azote dans le moût peut être obtenu en augmentant la fertilisation azotée au sol. Les conséquences, bien connues également, sont l'augmentation de la vigueur de la plante, du rendement, de la sensibilité aux maladies cryptogamiques et une diminution du niveau de maturité. Pendant la période estivale, au moment de la véraison, une part importante de l'azote prélevé dans le sol par la vigne, est retrouvée dans les raisins. Cette assimilation est dépendante des conditions du milieu et de l'état physiologique de la vigne : disponibilité de l'élément azote sous forme nitrate au voisinage du système racinaire, eau et carbone pour assurer le transfert dans la plante, compétition pour le carbone des organes « puits » (Goutouly, 2010). Même si les racines sont les principaux organes d'assimilation, comme beaucoup d'autres végétaux, la vigne est capable d'assimiler de l'azote par son feuillage. La pulvérisation foliaire s'avère présenter l'avantage de choisir le moment pour enrichir la plante en azote ou tout autre élément si nécessaire. Elle apparaît comme une technique qui présente en outre les avantages de s'affranchir de la composition du sol et de ses disponibilités en eau. Elle peut permettre de maintenir un niveau d'enherbement au vignoble en relation avec les services positifs attendus par la couverture du sol.

25788_vins_blancs.indb 109 13-10-11 12:23 PM

Une forme d'azote particulièrement favorable pour la fertilisation foliaire est l'urée. L'azote pulvérisé sur vigne sous forme d'urée à véraison entraîne une augmentation de la concentration en azote du moût (*figure 3.6*). Pour 10 kg d'azote pulvérisés par hectare, on peut attendre une augmentation de 50 % de la concentration en azote du moût, pour 20 kg par hectare on double cette concentration. Cependant, de nombreux facteurs peuvent influencer l'efficience de la pulvérisation azotée : le système de production, la période et les pratiques de pulvérisation, les conditions climatiques, la formulation du produit. Il s'agit d'être très attentif à la mise en œuvre cette technique (fiches pratiques, IFV Sud-Ouest, en ligne).

Au niveau des effets sur la composition aromatique des vins, les conséquences de la technique ont été étudiées sur la présence des thiols variétaux dans les vins ainsi que des composés fermentaires (acétates d'alcools supérieurs et esters éthyliques) (Dufourcq *et al.*, 2011).

Il a été mis en évidence que les vins issus des parcelles traitées par pulvérisation foliaire d'azote sont plus riches en acétates d'alcools supérieurs. En revanche, les teneurs en esters éthyliques d'acides gras ne sont pas significativement affectées par les apports d'azote testés. Pour ce qui concerne les thiols variétaux dans les vins, il y a toujours eu un gain dans les vins issus des parcelles traitées par pulvérisation d'une association azote-soufre en comparaison aux témoins (*figure 3.7*). L'azote-soufre est apporté dans la proportion de 2/3 d'azote pour 1/3 de soufre. En moyenne, on observe la révélation de quatre fois plus de composés aromatiques dans les vins. Même lorsque le témoin présente un haut niveau en thiols (10 à 50 nanomoles par litre), les améliorations dans les vins issus des traitements foliaires sont significatives (trois fois plus de 3-mercaptohexanol et de son acétate). Cela suggère que cette technique influence de manière importante la production de ces composés en vinification. Lorsqu'un niveau plus faible de thiols est présent dans les vins témoins (0,4 à 6 nanomoles par litre), le gain moyen est cinq fois plus important. Les dégustations mettent en avant des différences, la plupart du temps significatives, entre les vins issus des placettes traitées et les témoins non traités. Cela permet de confirmer les effets positifs de la technique. Elles confirment également qu'il n'y a pas d'apparition d'odeurs soufrées indésirables dans les vins aux doses préconisées.

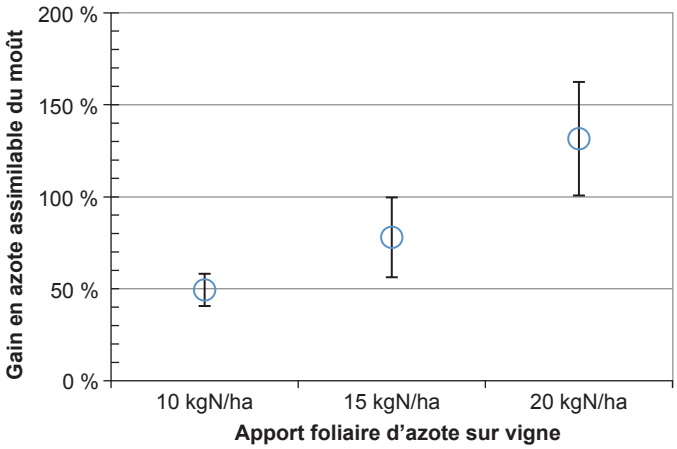


Figure 3.6 : Gain en azote assimilable des moûts après pulvérisation d'azote foliaire à véraison. Synthèse de résultat pour 101 échantillons. Barres d'erreur = intervalle de confiance à 95 %

25788_vins_blancs.indb 110 13-10-11 12:23 PM

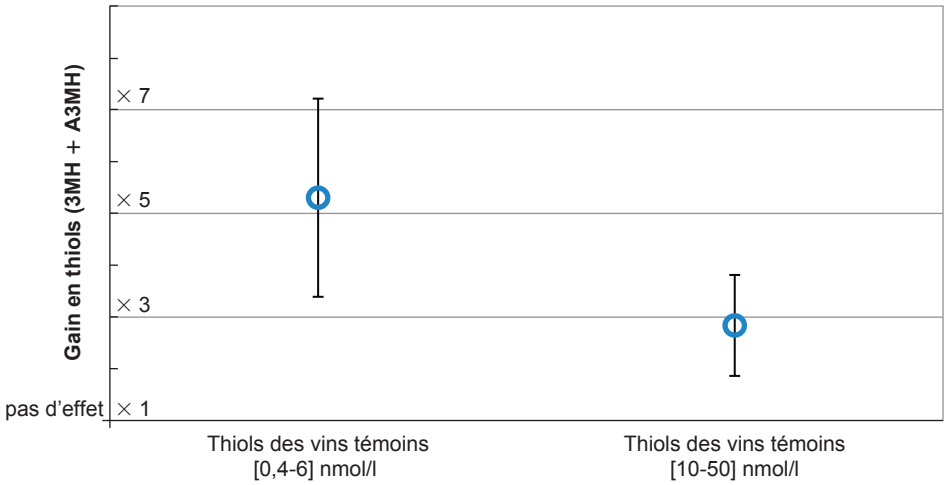


Figure 3.7 : Gain en thiols variétaux (3MH + Ac3MH) dans les vins par rapport à un témoin après pulvérisation foliaire d'azote-soufre sur vigne. Synthèse de résultats : 26 parcelles issues de 5 cépages au cours de 5 millésimes. Barres d'erreur = intervalle de confiance à 95 %

L'état azoté des raisins blancs issus de la production en agriculture biologique répond aux mêmes exigences dès lors qu'on cherche à produire un style de vins fruité frais. La réponse nécessaire pour répondre à cet objectif est d'autant plus complexe que la fertilisation en agriculture biologique fait appel à des amendements organiques dont la restitution sous forme d'éléments fertilisants (nitrates) est dépendante d'un processus complexe et non maîtrisé par le vigneron. Parmi les leviers possibles pour agir sur l'azote des moûts au vignoble, la pulvérisation foliaire tardive d'éléments azotés organiques est une voie envisageable (Geffroy et Dufourcq, 2010), mais qui aujourd'hui doit encore faire ces preuves (en raison du coût élevé des produits) pour se situer à une dose efficace pour l'amélioration de l'état azoté des raisins.

Une voie prometteuse est certainement l'utilisation de couverts végétaux en culture intercalaire avec la vigne. Il est possible ainsi d'influencer l'alimentation azotée de la vigne. Un essai dans le Sud-Ouest met en évidence l'intérêt d'un couvert hivernal à base de fabacées, détruit au printemps, qui a entraîné une restitution tardive d'azote au sol pour au final un gain significatif en azote assimilable des moûts (Gontier, 2013).

Irrigation de la vigne pour la production des raisins blancs

L'alimentation en eau de la vigne joue un rôle primordial pour son fonctionnement, pour la quantité et la qualité de la production de raisins. Elle aura donc un rôle majeur dans la qualité finale du vin. La culture de la vigne en condition de déficit hydrique modéré et progressif au cours de son cycle est favorable au processus de maturation des raisins. En revanche, les déficits trop sévères peuvent affecter de manière sensible les échanges gazeux de la plante (respiration, transpiration), le développement de la végétation, le rendement, la maturité et la composition de la baie.

25788_vins_blancs.indb 111 13-10-11 12:23 PM

La qualité et la reproductibilité dans l'élaboration d'un vin blanc adapté à son segment de marché sont un enjeu essentiel pour la compétitivité des exploitations vitivinicoles. Dans ce contexte, la maîtrise de l'alimentation hydrique et azotée de la vigne est un objectif nécessaire. Les conditions climatiques à l'échelle du vignoble participent grandement à ce que l'on appelle communément « l'effet millésime ». Aujourd'hui, le réchauffement climatique se traduit par des températures annuelles qui modifient le cycle de la vigne et qui exposent la phase de maturation des raisins, par sa précocité, à des températures plus chaudes et des états de contrainte hydrique plus sévères. La variation de la pluviométrie estivale, principalement de nature orageuse donc aléatoire, participe également à des hétérogénéités de situations pas toujours compatibles avec la recherche de profil qualitatif de raisins stable d'une année sur l'autre.

L'irrigation de la vigne est une technique développée dans la plupart des vignobles mondiaux. Celle-ci permet d'assurer des productions qualitatives dans des zones climatiques enregistrant une très faible pluviométrie estivale mais aussi dans des zones plus froides et plus humides. De très nombreuses publications consacrées aux raisins blancs de cuve sont disponibles pour mettre en place le transfert de la technique pour un objectif produit déterminé (Van Zyl *et al.*, 1984 ; Reynolds *et al.*, 2007 ; Spring et Zufferey, 2011 ; Yuste *et al.*, 2013).

Au-delà des questions sociétales soulevées par l'utilisation de la ressource en eau douce pour une production qui n'est pas de première nécessité, il est capital de considérer les effets attendus de la technique suite à une utilisation qui maintiendra la vigne dans les conditions d'un déficit hydrique régulé. Elles seront obtenues avec des systèmes d'apport d'eau par goutteurs à faible débit (1 à 2 litres par heure) et seront pilotées par la demande climatique et des mesures de l'état hydrique du sol (sonde), de l'état hydrique de la plante (potentiel hydrique foliaire) ou par modélisation complète du système (bilan hydrique) (Ojeda, 2007).

Les effets attendus sur le rendement sont une augmentation de la quantité de récolte entre 30 et 50 %. Ils sont la conséquence d'une augmentation du poids moyen de la grappe et du poids moyen de la baie (*tableau 3.29*). En aucun cas, l'irrigation ne permet de maîtriser la fertilité de la vigne et les écarts de rendement que l'on peut observer d'une année à l'autre.

L'apport d'eau permet une amélioration significative de la photosynthèse d'où une augmentation de la quantité de sucres produite à l'hectare. La maturité est légèrement décalée avec des vins plus acides et moins de polyphénols. Les apports en excès entraînent des dilutions de matières qui peuvent être préjudiciables à l'équilibre des vins.

Tableau 3.29 : Évolution des poids de la grappe, de la baie, de la concentration en sucres en fonction du volume d'irrigation et de la période d'apport ; $\delta^{13}C$ sur moûts à la récolte ; cépage Colombard, millésime 2012

	Témoin	Irrigation ferm. grappe-véraison	Irrigation ferm. grappe-récolte
Irrigation (mm)	0	60	94
Grappe (kg)	0,228	0,264	0,293
Baie (g)	2,05	2,38	2,47
Sucres (g/L)	172	175	174
Acide malique (g/L)	4,3	4,5	5,8
$\delta^{13}C$	23,4	24,3	26,0

25788_vins_blancs.indb 112 13-10-11 12:23 PM

Peu de résultats mettent en lien directement la qualité aromatique des vins et les pratiques d'irrigation. Il s'agit de considérer l'itinéraire hydrique préférable pour le style de vin souhaité. Généralement, le maintien de la vigne dans un itinéraire en contrainte faible à modérée permet de trouver le meilleur compromis entre maturité et limitation de production des métabolites secondaires que sont les polyphénols. En ce sens, l'irrigation peut compenser des terroirs trop limitants mais des solutions alternatives peuvent aussi exister dans le choix de la zone d'implantation des vignes, du porte-greffe ou des pratiques culturales.

Protection des vignes de raisins blancs

La protection des vignes de raisins blancs ne se différencie pas des autres productions de raisins de cuves. L'objectif général demeure la pérennité de la plante et le maintien de l'état sanitaire des raisins à la récolte pour répondre au style de vin déterminé.

Parmi les interactions indésirables, il s'agit de s'intéresser aux protections cupriques contre le mildiou de la vigne (*Plasmopara viticola*). Il a été montré que la présence de cuivre dans les moûts de Sauvignon pénalisait au final la production de thiols variétaux dans les vins (Hadzidimitriou *et al.*, 1996). Les travaux de recherche montrent que le cuivre ne migre pas dans la plante et que seule la bouillie au contact de la grappe est responsable de sa présence dans le moût. On retrouve ces mêmes effets dans les vins de Colombard de Gascogne où, après dosages des concentrations en cuivre dans les raisins de 180 échantillons sur trois millésimes, la quantité de thiols analysée dans les vins dépasse rarement le seuil moyen lorsque des applications de cuivre ont été réalisées au vignoble (*figure 3.8*). Dans ce cas, l'absence de traitement au cuivre est une condition nécessaire mais non suffisante à l'obtention de vins riches en thiols.

Dans ce même dispositif, après hiérarchisation des leviers influençant la présence de thiols dans les vins, il apparaît que la variable « cuivre » est le principal facteur négatif (Dufourcq *et al.*, 2010).

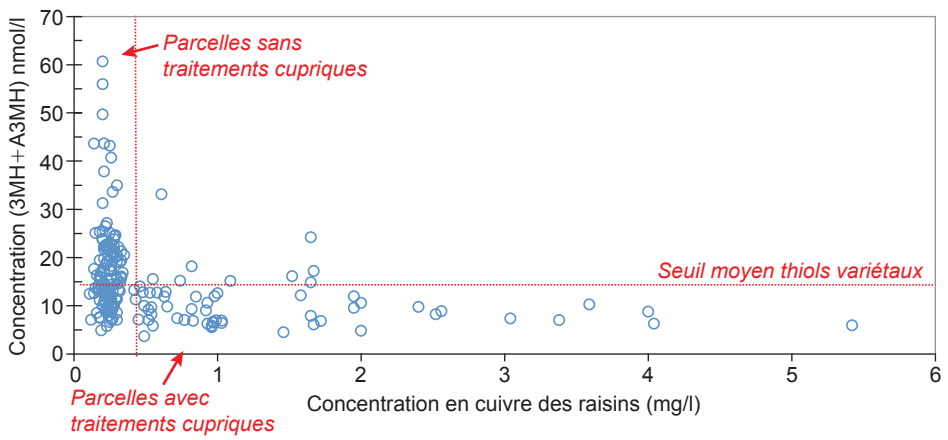


Figure 3.8 : Concentrations en cuivre dosées dans 180 échantillons de raisins de Colombard en relation avec la concentration en thiols variétaux (3MH + A3MH) dans les vins

25788_vins_blancs.indb 113 13-10-11 12:23 PM

Dans ce contexte, il s'agit de bien considérer que, dans le processus complexe qui conduit à produire un vin avec des thiols variétaux, le facteur cuivre est un élément majeur au même titre que la qualité sanitaire des raisins, la protection contre l'oxydation, l'état azoté des raisins ou le choix de la souche de levure. Il serait dommage d'engager tous les efforts nécessaires lors de la vinification et l'élevage sans prendre en considération ce facteur.

À partir de ce constat, il s'agit de raisonner l'emploi de spécialités à base de cuivre pour la protection du vignoble en fonction des profils de vins sur les thiols. Le non-emploi est certainement la meilleure solution. Une autre solution consiste à limiter les apports de fins de saisons, en cas de contamination, sur la partie haute du feuillage qui est de fait la plus sensible. Sur ces dernières années, la diminution des doses de cuivre au vignoble limite en conséquence les résidus sur les raisins, et est donc aussi favorable à la diminution des impacts négatifs sur vins.

25788_vins_blancs.indb 114 13-10-11 12:23 PM

IV

Aspects œnologiques

25788_vins_blancs.indb 115 13-10-11 12:23 PM

À partir de ses objectifs produits et de la matière première dont il dispose, l'œnologue doit faire des choix pour valoriser au mieux sa production.

Cela passe bien évidemment par l'adaptation des techniques de vinification à la fois à la matière première disponible mais également au type de vin à produire.

Après avoir dressé un tableau des grands types de vinification qui s'offrent à l'œnologue, cette quatrième partie s'attachera à détailler, étape par étape, les différentes opérations unitaires dans un procédé classique de vinification, en commençant par le choix de la date de récolte pour finir par les opérations postfermentaires. Pour chacune des opérations unitaires seront développés les technologies disponibles ou en cours de validation et leur impact sur la qualité des produits, puisque c'est là que réside le principal levier d'action de l'œnologue dans sa « stratégie d'adaptation » face à la double contrainte de la matière première et de l'objectif produit.

25788_vins_blancs.indb 116 13-10-11 12:23 PM

10

Les grands types de vinification

Parmi tous les types de vins, les blancs sont très certainement ceux dont les vinifications ont le plus bénéficié des avancées de la recherche scientifique et des progrès technologiques. En termes de recherche, les résultats obtenus en microbiologie, dans la compréhension des mécanismes fermentaires, et en analyse dans le domaine des arômes, ont conduit à orienter les vinifications à la fois pour valoriser les arômes fermentaires positifs, mais surtout pour exprimer les arômes variétaux et de terroir. Ces derniers bénéficient souvent de l'action des levures pour se révéler. Contrairement à ce qu'on avait pu voir dans les décennies précédentes où, sous l'influence des pays anglo-saxons, l'extraction et la concentration semblaient dicter une conduite des vinifications privilégiant l'excès (maturité avancée, macération pelliculaire, utilisation du bois neuf...), cette dernière décade a vu apparaître des techniques d'élaboration pour lesquelles finesse et complexité aromatique étaient les objectifs à atteindre, tout en préservant une fraîcheur, voire une nervosité, gustative. Ces évolutions sont la conséquence d'une meilleure maîtrise de certains paramètres comme l'extraction des jus, la température ou la préservation contre l'oxygène. En cela, l'utilisation généralisée de pressoirs à membrane ou à plateaux, la présence de groupes de froid adaptés, de carboglace dès la récolte, de gaz neutre ou d'installations à inertage facilité, ont contribué à la production de ces vins « nouveau style ». Mais cette émergence de nouveaux vins, appréciés par des consommateurs adeptes de vins jeunes ou ne disposant pas de caves pour la conservation, ne doit pas faire oublier tous les vins blancs de garde ou spéciaux, s'inscrivant dans une tradition plus ancienne, mais qui eux aussi ont pu bénéficier des innovations technologiques ou de tous les travaux de recherche-développement sur, par exemple, l'utilisation du bois de chêne.

Enfin, l'évolution de la réglementation européenne sur les vins biologiques a conduit les vinificateurs à une plus grande maîtrise des procédés de vinification afin de limiter les intrants, en particulier le SO_2, sans nuire pour autant à la qualité. Dans ce chapitre, un paragraphe est consacré à ces vinifications qui se répandent de plus en plus.

Vins blancs secs

Vinification en cuve

Opérations préfermentaires

Sur le plan strictement technologique, les opérations préfermentaires ont pour objectif d'extraire et de clarifier les jus des raisins. Elles ont une incidence capitale sur la qualité des vins blancs et leur expression aromatique. Selon la qualité de la vendange (maturité, état sanitaire) et selon le type de vin élaboré, le vinificateur cherche, au cours de cette étape, à favoriser ou au contraire à limiter la diffusion dans le jus des éléments présents dans les parties solides de la grappe (pellicules, rafle, bourbes).

25788_vins_blancs.indb 117 13-10-11 12:23 PM

Les facteurs à maîtriser à ce stade sont :

- les actions mécaniques (trituration) car elles favorisent la formation des bourbes ;
- la macération (échanges jus/parties solides) qui pourra être favorisée par une macération pelliculaire ou au contraire limitée par un pressurage en raisins entiers ;
- l'oxydation qui peut être préjudiciable à l'expression aromatique de certains vins ;
- les développements microbiens dont les répercussions négatives pour la qualité des vins ne pourront s'exprimer qu'en cours de fermentation.

La clarification des moûts est une étape essentielle pour la finesse aromatique des vins. Elle est d'autant plus indispensable que le jus est fortement chargé en bourbes. Le résultat du débourbage est plus important que le moyen employé. Le degré de clarification dépend de l'état sanitaire de la vendange, de sa maturité et du degré de trituration des raisins. Les corrections de la qualité des moûts (richesse en sucre, correction de l'acidité, raisins altérés, carence en azote, stabilisation protéique) se font au cours de cette période ou au début de la fermentation alcoolique.

Conduite des fermentations

La maîtrise de la fermentation alcoolique est un autre point capital pour la qualité des vins blancs. Trois paramètres principaux interviennent :

- le choix du mode de levurage et de la souche de levure. Il dépend du cépage et du type de vin recherché. Certaines souches de levure privilégient les arômes fermentaires, d'autres permettent de révéler le potentiel aromatique des cépages ;
- la teneur en azote assimilable des moûts, qu'il convient en général d'optimiser aux alentours de 180 mg/L, en relation avec le titre alcoométrique potentiel et la turbidité des moûts ;
- la maîtrise de la température au cours de la fermentation alcoolique. Pour les vins à arômes fermentaires, la fermentation se déroule à basse température (autour de 15 °C). Pour les vins de cépage, il est préférable de se situer autour de 18-20 °C. Les profils de température croissante au cours de la fermentation alcoolique conviennent aux vins de garde.

Le suivi de la fermentation alcoolique est particulièrement important vers la fin afin d'éviter tout arrêt de fermentation avec des risques de déviations microbiennes et d'oxydation.

Sauf exception, la fermentation malolactique n'est pas recherchée en vinification en blanc car l'acide malique contribue à la fraîcheur des vins.

Opérations postfermentaires

Entre la fin de la fermentation et le conditionnement, le vin acquiert progressivement les caractéristiques organoleptiques et l'expression aromatique de son type. Les objectifs du vinificateur au cours de cette période sont les suivants :

- la conservation du vin permettant d'éviter les déviations organoleptiques (notamment l'oxydation et la réduction) et microbiennes ;
- la clarification pour débarrasser le vin des éléments en suspension, le rendre limpide et contribuer ainsi à la finesse de ses arômes. Elle est plus ou moins rapidement recherchée selon le type de vin ;
- la stabilisation, qui contribue à la préservation de la limpidité après conditionnement. Pour les vins blancs, elle concerne les protéines et les précipitations tartriques ;
- l'élevage ou maturation qui consiste à préparer les vins au vieillissement. Les objectifs sont variables selon le type de vin recherché et ses capacités de garde. Pour les vins primeurs, il s'agit de préserver les arômes fermentaires. Pour les vins de cépages, c'est l'expression

25788_vins_blancs.indb 118 13-10-11 12:23 PM

variétale qui guide cette étape. Pour les vins de garde, l'optimum qualitatif se révélera après quelques années de conservation en bouteilles.

La maîtrise de l'oxygène, du SO_2 et de l'ensemble des phénomènes d'oxydoréduction joue un rôle primordial au cours de cette période (*figure 4.1*).

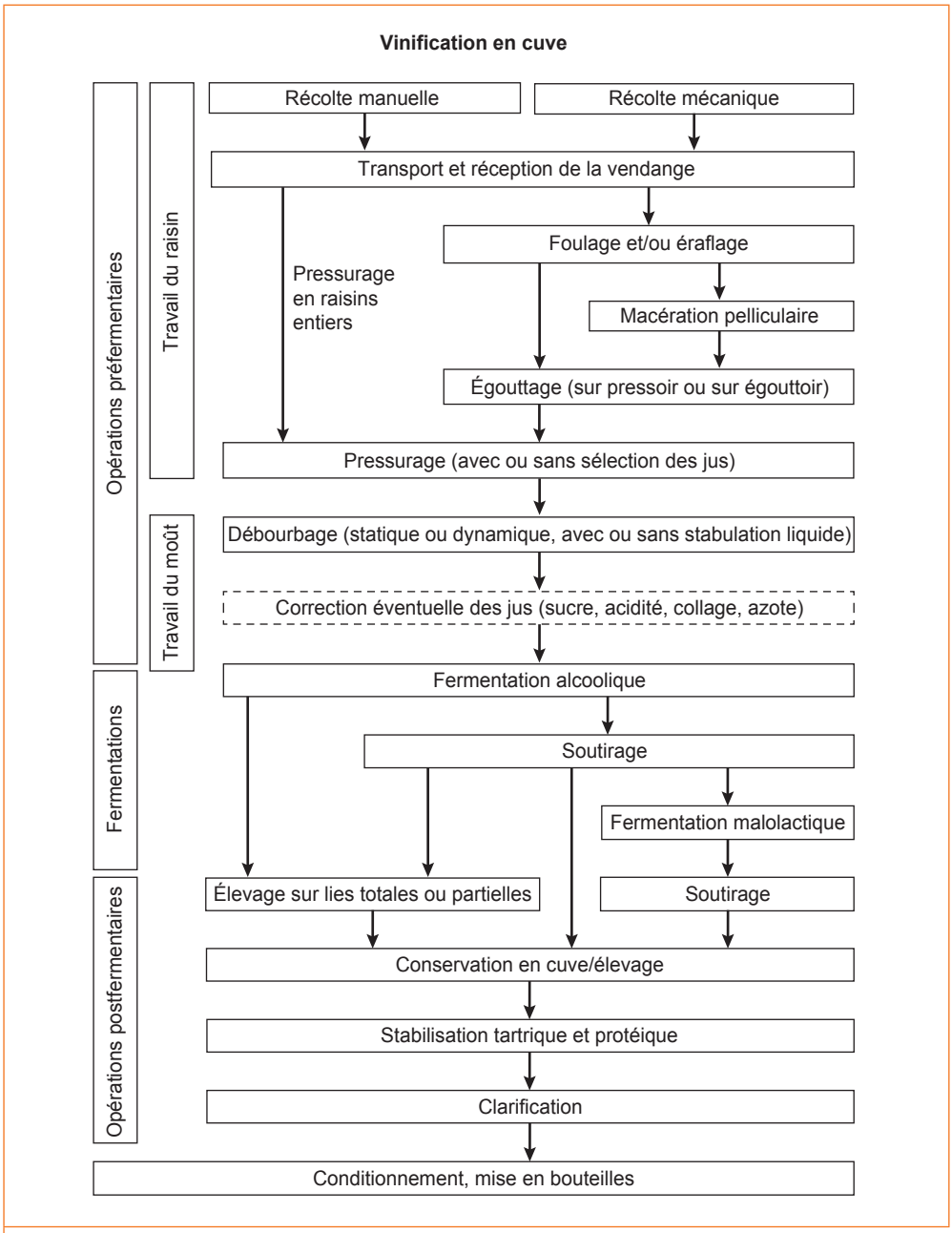


Figure 4.1 : Vinification en cuve

25788_vins_blancs.indb 119 13-10-11 12:23 PM

Vinification des vins blancs en fût

Historiquement, le tonneau en bois s'est imposé par ses qualités de résistance qui le rendait plus performant en tant que contenant transportable, supplantant l'amphore grecque trop lourde et trop fragile. Le tonneau de bois est ainsi parvenu jusqu'à nous principalement grâce à sa capacité à satisfaire les besoins logistiques des commerçants. Petit à petit, le chêne s'est imposé par ses caractéristiques techniques et sa « bonne » dégustation. Après la période économiquement difficile de l'après-guerre, dans les années 1980, la tonnellerie a connu de nouveau une attractivité avec la mode des vins boisés. La pratique de la vinification des vins blancs de Bourgogne en fûts de chêne devient à ce moment-là de moins en moins empirique. Ce sont des fûts de chêne d'origine française le plus souvent (Vosges, Allier, Loire, Bourgogne), quelquefois d'origine Europe de l'Est ou USA. Plus rarement, des essences telles que l'acacia et le châtaignier sont utilisées. La proportion de fûts neufs doit rester modérée pour ne pas surboiser inutilement les cuvées. Il n'y a pas cependant de « recette » idéale dans le choix et la proportion de fût neuf. Chaque Domaine détermine les tonnelleries et les provenances de bois en fonction de ses objectifs de style, de ses résultats de dégustation et de son calendrier de préparation à la mise. Les fûts sont régulièrement changés au bout de trois ou quatre ans. Souvent, ils rebasculent en « rouge ».

On distingue essentiellement trois itinéraires : la fermentation directement et entièrement en fûts, le départ en fermentation en cuve puis mise en fûts et l'entonnage en fin de fermentation. L'entonnage plus tardif (après FA ou FML) est à proscrire, car il donnerait obligatoirement un vin surboisé sans intérêt gustatif.

Fermentation directement en fûts

Dans cet itinéraire, le vin est entonné directement à partir de la cuve de débourbage. Il peut être refroidi au préalable pour éviter les élévations trop importantes de température difficilement maîtrisables en fûts. Toutefois, les fûts étant souvent stockés dans des caves fraîches, l'élévation de température reste modérée. Parfois, le vin n'est même pas débourbé ou alors très rapidement. Cette alternative s'adresse à des cuvées de récolte très mûres issues de beaux terroirs et de parfait état sanitaire. Dans ce cas, le vinificateur estime que la fermentation alcoolique sera favorisée en fournissant au vin une plus grande quantité d'éléments supports et des éléments nutritifs indispensables. Les bourbes en présence peuvent également adsorber des éléments inhibiteurs métabolisés par les levures lors de la FA. En revanche, le risque d'apparition d'odeurs de réduction plus ou moins fortes est réel. Elle engendre un surcroît de surveillance et de travail, car les corrections éventuelles (chaptalisation, acidification, levurage…) devront se faire fût par fût. Les pièces (228 L en Côte-d'Or) sont remplies à environ 200 L pour éviter les débordements pendant la phase tumultueuse. La fermentation directement en fûts est intéressante surtout dans le cas de futaille neuve. Il a été en effet mis en évidence une meilleure assimilation du caractère boisé grâce à l'activité levurienne totale. La conservation sur lies totales pendant l'élevage améliore encore le fondu du caractère boisé, car les levures sont capables de fixer et continuent de transformer les constituants volatiles du bois au fur et à mesure de leur libération. Un bâtonnage est réalisé fréquemment quand la FA est franchement démarrée : il aura pour rôle la mise en suspension du trouble composé à la fois de particules d'origine végétale et de levures, ainsi qu'un apport d'oxygène nécessaire à la croissance levurienne. Les pièces sont remplies petit à petit au fur et à mesure de l'achèvement de la FA.

25788_vins_blancs.indb 120 13-10-11 12:23 PM

Départ en fermentation en cuve puis mise en fût

L'intérêt de cette option réside premièrement dans la possibilité de réaliser tous les réglages en grand volume. Contrairement à la vinification en rouge où la chaptalisation peut être fractionnée pour prolonger la macération, ce principe n'a pas d'intérêt en blanc. Après résultats analytiques, les apports éventuels de sucre, d'acidité et de levure peuvent être effectués. La température peut être aussi rectifiée. Le vinificateur attend le franc départ en FA, c'est-à-dire une chute de densité de 20 ou 30 points, peut en profiter pour apporter une première fraction de nutriment minéral ou organique et entonne ensuite. La manipulation fournira aussi l'oxygène nécessaire au bon déroulement de la FA. Une fois le vin entonné (avec un creux d'une vingtaine de litres), il est régulièrement bâtonné pour les mêmes raisons. Cet itinéraire apporte un certain confort et une certaine sécurité, surtout dans le cas de fermentation spontanée avec levures indigènes, mais nécessite une plus grande quantité de cuves en raison des délais de départ en fermentation qui peuvent aller jusqu'à une semaine.

Sur le plan sensoriel, les cuvées obtenues sont très proches de celles fermentées directement en fûts. On peut cependant imaginer à la marge une moindre complexité aromatique due au démarrage de la FA dans le même récipient/cuve.

Entonnage en fin de fermentation

C'est la technique sûrement la plus sécuritaire. La fermentation est réalisée en cuve jusqu'à une densité de 1 030-1 020, ce qui permet une meilleure maîtrise des paramètres de la FA, notamment de la température. Après la phase tumultueuse, le vin peut être entonné en laissant toujours un creux d'une dizaine de litres. Cet itinéraire permet aussi une meilleure homogénéité analytique dans chaque lot de fûts au contraire de la technique d'entonnage directe qui engendre de grandes irrégularités, ce qui contraint le vinificateur à une surveillance accrue. L'expérience montre que les meilleurs résultats organoleptiques sont obtenus pour les plus vieux fûts avec cette technique.

Élevage

La suite de l'élevage est commune aux trois itinéraires. Les remplissages pourront commencer à partir de la densité 1 000 au fur et à mesure de l'avancée dans la fermentation. Après achèvement des sucres, les fûts sont remplis complètement et les bondes serrées. La fréquence des ouillages sera une fois par semaine dans les premiers temps. Des bâtonnages pourront avoir lieu pendant quelques semaines avec une fréquence qui ira en diminuant. Leur arrêt sera dicté soit par la fin de la FA, soit par la dégustation qui fera apparaître le meilleur équilibre entre le gras et l'acidité. Cette technique requiert de la mesure, car les lies sont des capteurs préférentiels d'oxygène ; bâtonner va alors dans le sens d'une augmentation de leur effet, mais l'ouverture des fûts provoque nécessairement une rentrée d'oxygène non maîtrisée. La pratique du bâtonnage n'est pas systématique ; une nouvelle école tend même à ne plus l'utiliser. Dans certains cas, la FA sera stoppée par l'arrivée des premiers froids en laissant quelques grammes par litre de sucres résiduels. Elle reprend généralement au printemps avec la remontée des températures.

25788_vins_blancs.indb 121 13-10-11 12:23 PM

Il y a toujours un débat de fond entre les tenants d'une fermentation rapide et franche et ceux d'une fermentation languissante. Les études menées sur les bienfaits d'un maintien d'une bonne teneur en glutathion sur le vieillissement des vins vont dans le sens des premiers. L'itinéraire est complété par une FML, également rapide, dans le but de sulfiter le plus précocement possible. Ainsi, tout le pool de glutathion est préservé à toutes fins utiles. Certains vinificateurs préfèrent au contraire une fermentation languissante qui apporterait aux vins onctuosité

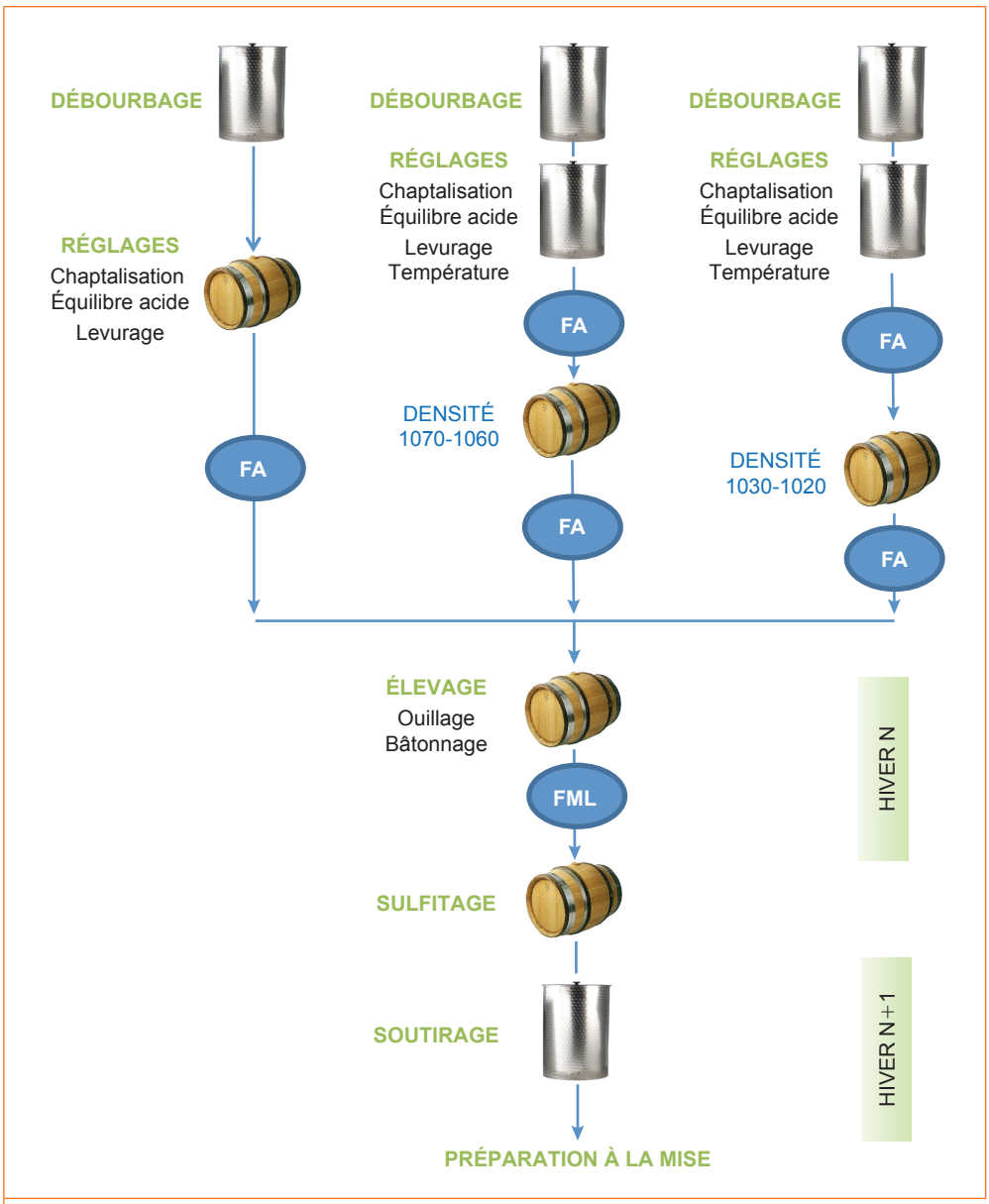


Figure 4.2 : Vinification en fût

25788_vins_blancs.indb 122 13-10-16 2:42 PM

et gras « produits » par des levures en état de stress permanent. Dans certains cas, la FML peut même se terminer avant la fin des sucres, ceci sans production d'acidité volatile. Une fois celle-ci achevée, la FA reprend la plupart du temps de façon naturelle et se termine. On peut alors penser que les bactéries ont servi de source nutritive à une population de levures carencées. La dégustation de ce type de vin peut faire abonder quelque temps dans le sens d'une FA languissante, mais l'avenir de ces vins est plus improbable, surtout si un temps plus ou moins long de non-activité fermentaire est constaté entre deux fermentations ; les vins jaunissent, ils perdent leur fruit au profit de notes oxydatives. Nous savons alors que leur pool de glutathion devient quasi nul. Malgré tout, il faut néanmoins reconnaître que certaines cuvées conduites selon ces itinéraires « risqués » gardent une étonnante qualité. La réponse peut se trouver dans l'origine et la constitution exceptionnelle des raisins, mais aussi grâce à des pratiques préfermentaires optimisées.

L'itinéraire classique reste cependant de réaliser une FML assez rapide après la fin des sucres. En effet, le délai entre la fin de la FA et le début de la FML laisse le vin sans protection. Cette phase oxydative peut s'avérer fatale, car alors le glutathion est consommé en priorité et privera de manière définitive le vin d'un élément antioxydant d'importance.

Dès la fin de la FML, le vin est sulfité massivement en une fois pour maintenir un bon niveau de SO_2 libre. Pour ce faire, les doses sont généralement de 15 à 20 cL par pièce de 228 L de SO_2 à 5 %, l'idée étant de viser au moins 60 mg/L de SO_2 total pour avoir 20 mg/L de SO_2 libre. Ce niveau sera ensuite maintenu par des contrôles analytiques périodiques.

Les durées d'élevage en fûts s'étagent de quelques mois à plus d'un an. En fonction de la dégustation et des objectifs, le vin sera soutiré en cuve soit pour y être collé et être ainsi préparé à la mise en bouteille, soit pour y passer un deuxième hiver, ce qui assurera d'avantage sa stabilité tartrique.

Si les manipulations doivent intervenir pendant le deuxième hiver, l'accent est mis sur la nécessité des phases de repos et des réglages de SO_2 permettant la meilleure maîtrise de l'oxygène dissous.

Vins effervescents[4]

Les vins effervescents les plus connus sont bien évidemment les vins de Champagne. Le terme utilisé aujourd'hui pour dénommer le procédé d'élaboration des vins de Champagne est « méthode traditionnelle » ou « méthode classique ». Ce procédé se caractérise entre autre, à la suite de l'assemblage des vins, par un tirage en bouteilles avec addition d'un levain, d'une liqueur de tirage et d'adjuvants de remuage, suivi d'une prise de mousse et d'un vieillissement sur lies pendant au moins quinze mois. De nombreux autres vins, tels que les Crémants, le Cava, certains Sekts et le Spumante sont élaborés selon ce procédé. Toutefois, en dehors du terroir et du microclimat, beaucoup d'autres facteurs (en particulier les cépages utilisés, la durée du vieillissement sur lies, la pression en CO_2 etc.) différencient ces vins du Champagne. Nous nous limiterons ici à parler de l'élaboration du Champagne ; par ailleurs, d'autres procédés existent, notamment le procédé en cuve close, qui ne seront pas développés dans cet ouvrage et pour lesquels nous renvoyons au point fait par Bidan (1998) sur les différentes techniques.

4. Extrait de : Duteurtre, B. (2010). *Le Champagne : de la tradition à la science*. Paris, Lavoisier.

25788_vins_blancs.indb 123 13-10-16 2:42 PM

Finesse et équilibre caractérisent les vins de Champagne, ce qui implique à la vendange une maturité optimale qui ne correspond pas à la maturité physiologique. Un degré alcoolique potentiel de 10 à 11 % et une acidité relativement élevée de l'ordre de 7 à 8 g H_2SO_4/L sont les valeurs recherchées pour les vendanges.

Le Champagne étant élaboré avec plus de 70 % de cépages noirs (Pinot noir et Pinot meunier) et 28 % de Chardonnay, le pressurage doit être effectué de manière très douce. Les faibles pressions utilisées empêchent la pellicule de la baie d'être entièrement détruite et évitent la libération des fractions herbacées responsables de l'amertume et de l'astringence ainsi que des composés accentuant la couleur. Le rendement au pressurage correspond à 102 L de jus récupéré pour 160 kg de raisin mis en œuvre.

À l'issue d'un débourbage de 12 à 24 heures, le moût, sulfité et chaptalisé en fonction des conditions de l'année et de la réglementation en vigueur, est ensemencé à l'aide d'une culture pure de levure.

Cette fermentation alcoolique est réalisée le plus souvent dans des cuves en acier inoxydable munies de système de régulation de température, bien que quelques très rares opérateurs continuent à la développer dans des foudres en bois ; sa durée peut varier d'une à trois semaines selon la température choisie (15 à 20 °C). Après cette fermentation alcoolique, la fermentation malolactique est généralement faite à l'aide de ferments sélectionnés. Aujourd'hui, certains élaborateurs ne la développent que sur une partie de leurs vins afin d'ajuster au mieux leurs caractéristiques organoleptiques en fonction des conditions de l'année et des profils aromatiques recherchés.

À l'issue de ces fermentations, environ deux à trois mois après les vendanges, le travail d'assemblage va être envisagé, ce qui va permettre à l'élaborateur de préparer les différentes cuvées qu'il souhaite mettre sur le marché.

L'assemblage représente l'étape clé de l'élaboration d'un Champagne. Il est effectué après de nombreuses séances de dégustation en mélangeant les vins de différents cépages, de différents crus et de différentes années (vins de réserve). Pour les négociants et les grandes coopératives, il s'agit de préparer chaque année des vins exprimant le profil aromatique qui les caractérise pour assurer la continuité de la marque. Mais s'il s'agit d'une cuvée millésimée, l'œnologue cherchera d'abord à mettre en avant les caractéristiques de l'année. Dans tous les cas, ce travail est basé sur la mémoire olfactive et gustative et sur l'expérience que possèdent les œnologues, chefs de cave ou récoltants-manipulants sur le potentiel d'évolution des vins ainsi assemblés après prise de mousse et vieillissement sur lies.

L'assemblage de chaque cuvée étant réalisé, le tirage des vins en bouteilles sera effectué après collage ou clarification et traitement au froid des vins. Le collage permet par des traitements appropriés de prévenir d'éventuels troubles dans les vins. Les produits que l'on utilise sont les mêmes que pour les vins tranquilles, mais il faut tenir compte dans le choix de ces produits de leur éventuelle influence sur l'effervescence et la stabilité de la mousse. La stabilisation tartrique pour l'élaboration des vins effervescents – réalisée sur l'assemblage avant tirage – doit donc être effectuée avec encore plus de soins. En effet, il faut se prémunir de l'éventuelle formation de cristaux lors de la conservation du Champagne au froid car ces cristaux entraîneraient lors de l'ouverture de la bouteille le phénomène de gerbage, c'est-à-dire un moussage intempestif et non contrôlé du vin lors du service.

Le Champagne reste un vin essentiellement blanc, même si les champagnes rosés représentent aujourd'hui près de 8 % du marché. Ceux-ci sont réalisés par mélange à l'issue de l'assemblage des vins blancs avec une faible partie de vins rouges élaborés à partir de Pinot noir et Pinot meunier cultivé en Champagne.

25788_vins_blancs.indb 124 13-10-11 12:23 PM

Particularité du Champagne, une nouvelle fermentation alcoolique (ou prise de mousse) va se développer dans la bouteille, ce qui permettra de retenir le CO_2 et d'obtenir l'effervescence caractéristique de ce vin. C'est ainsi que l'opération de mixtion prend place : le vin est additionné de sucre (22 à 25 g/L), d'une levure sélectionnée capable de démarrer une nouvelle fermentation alcoolique dans des conditions très sévères (alcool : 11/11,5 % vol, pH : 3,0/3,2, SO_2 libre : 5/15 mg/L, température : 11/15 °C) et d'adjuvants de remuage qui faciliteront l'opération de remuage ultérieure. Le tirage en bouteille peut être alors réalisé.

Une fois tirées, les bouteilles sont stockées en cave. À la température de celle-ci (12 à 15 °C), la durée de la prise de mousse, c'est-à-dire de la fermentation complète des sucres ajoutés, est de quatre à huit semaines. Le vin va subir ensuite une période de maturation – ou vieillissement sur lies – pendant laquelle des phénomènes de nature chimique et biochimique lui permettront de développer de nouveaux arômes et de s'affiner. En Champagne, la durée totale du séjour sur lies doit être de quinze mois minimum pour les cuvées non millésimées et de trente-six mois minimum pour les cuvées millésimées. Dans la pratique, de nombreuses cuvées peuvent vieillir bien au-delà de ces délais légaux.

Des travaux récents, réalisés en particulier par le Centre interprofessionnel du vin de Champagne (CIVC), permettent aujourd'hui, à l'aide d'appareillages performants, de mesurer l'oxygène dissous ou le CO_2 dans le vin. Ils quantifient de manière précise les pertes de CO_2 ainsi que l'évolution de l'oxygène dissous dans le temps sur des bouteilles entreillées en cave et bouchées avec des capsules couronne ou sur des bouteilles bouchées liège. Cette mesure a permis en particulier de mettre au point des capsules de tirage munies de joints synthétiques qui favorisent un meilleur contrôle des échanges gazeux et par conséquent de l'évolution des vins.

À la suite de ce vieillissement prend place l'opération de remuage, aujourd'hui essentiellement réalisée de manière mécanique. Le remuage permet de récupérer dans le col de la bouteille en quelques jours le dépôt de levures et de lies issues de la prise de mousse et du vieillissement sur lattes.

Le dégorgement se fait mécaniquement, par immersion du col des bouteilles dans un bain glacé pendant quelques minutes, ce qui permet la formation d'un glaçon renfermant le dépôt. À l'ouverture des bouteilles, sur des chaînes automatisées, la pression permet d'expulser le dépôt. Après réajustement des volumes et addition de l'éventuelle liqueur d'expédition, un bouchon liège est fixé sur la bouteille à l'aide d'un muselet. Au terme de quelques semaines de repos, les bouteilles sont prêtes pour l'habillage avant expédition.

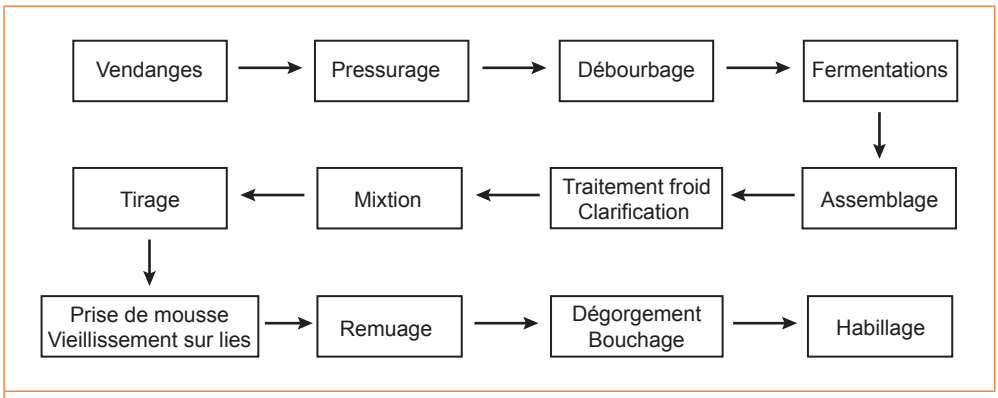


Figure 4.3 : Vinification en vin effervescent (méthode traditionnelle) (extrait de* Le Champagne, de la tradition à la science, *B. Duteurtre. Paris, Lavoisier, 2010)

25788_vins_blancs.indb 125 13-10-11 12:23 PM

Vins moelleux

Au sein de la catégorie des vins blancs doux, il faut distinguer les vins issus de raisins passerillés, des vins issus de raisins atteints de pourriture noble. Ces derniers seuls cumulent toutes les difficultés envisageables dans ce type de vinification.

Au cours des quinze dernières années, de nombreux travaux scientifiques ont porté sur une meilleure connaissance de la vinification des vins issus de raisins botrytisés : découverte de nouvelles molécules impliquées dans la combinaison du dioxyde de soufre (Guillou-Largeteau, 1996 ; Barbe, 2000), détermination des molécules odorantes impliquées dans les arômes des vins doux (Sarrazin, 2007 ; Thibon *et al.*, 2010 ; Sarrazin *et al.*, 2010), maîtrise de l'acidité volatile formée lors de la fermentation alcoolique des raisins botrytisés (Bely *et a*l., 2005 ; Renault, 2010), étude sur les levures de refermentation de vins doux (Divol, 2004).

Tous ces travaux ont permis de réelles avancées techniques dans la maîtrise de la vinification et de l'élevage des vins doux, avancées reprises pour l'essentiel dans ce chapitre.

Récolte de raisins de qualité

Lors de la récolte de raisins très riches en sucres (à des concentrations souvent supérieures à 350 g/L de moût), l'état sanitaire de la vendange est un point déterminant de la qualité ultérieure du vin. Même dans le cas de raisins atteints de pourriture noble, l'infection par *Botrytis cinerea* doit s'opérer sur des raisins parfaitement mûrs et sains, indemnes de toute déviation fongique et/ou bactérienne. Seule une viticulture de qualité accompagnée d'une trie extrêmement soignée et rigoureuse au moment des vendanges peut garantir un fort potentiel aromatique et une grande netteté de goût des raisins.

Les modifications de la composition des raisins et des moûts au cours du passerillage ou au cours du développement de *Botrytis cinerea* sont bien connues (Ribéreau-Gayon *et al.*, 1998). Certaines de ces modifications ont une conséquence directe sur la vinification :

- concentration des sucres ;
- carence en azote assimilable et en vitamines ;
- augmentation du pH, souvent compris entre 3,6 et 4,0 ;
- présence de polyosides à activité fongistatique et de substances antibiotiques produits par *Botrytis* ;
- oxydations massives, notamment par la laccase de *Botrytis* (Donèche, 1987) ;
- élaboration de polymères de glucose (glucane) par *Botrytis* (Dubourdieu, 1978).

Extraction des jus et traitements

Les jus de raisins passerillés ou botrytisés doivent être extraits par pressurage direct, en évitant toute trituration des baies, avec montée en pression lente jusqu'au maximum autorisé par le pressoir, puis rebêchage et remontée en pression, en répétant ces cycles longs jusqu'à extraction complète. Il n'est pas indispensable de séparer les jus, il faut cependant garder à l'esprit que la concentration en sucres augmente graduellement au cours du pressurage pour finir parfois à des niveaux très élevés de l'ordre de 500 g/L.

Un léger sulfitage de 3 à 5 g/hL peut s'avérer utile dans le cas de moûts de raisins passerillés (pour sélectionner les levures fermentaires et éviter les oxydations) mais semble tout à fait superflu dans le cas de moûts de raisins botrytisés (la sélection des levures fermentaires et les oxydations s'étant déjà opérées sur les raisins lors du processus de pourriture noble).

25788_vins_blancs.indb 126 13-10-11 12:23 PM

Le débourbage doit être léger, ces moûts fermentant très bien et sans déviation à des turbidités supérieures à 500 NTU.

Un ajustement à 190 mg/L de la teneur en azote assimilable est indispensable et doit être réalisé en moût juste avant le démarrage de la fermentation alcoolique (Bely *et al.*, 2005) simultanément à une addition de thiamine à la dose de 60 mg/hL : l'azote stimule la croissance des levures, la thiamine est également un facteur de croissance, qui de surcroît, favorise la décarboxylation des acides cétoniques (acides pyruvique et α-cétoglutarique) diminuant ainsi les combinaisons du dioxyde de soufre.

Fermentation alcoolique

La principale difficulté de la vinification des raisins riches en sucres réside dans la conduite de la fermentation alcoolique : la forte pression osmotique exercée par les sucres sur les levures nécessite un enrichissement en glycérol du contenu intracellulaire des levures. Cette accumulation de glycérol se fait aux dépens de la réduction du nicotinamide adénine dinucléotide (NAD), le nicotinamide adénine dinucléotide protoné (NADH) étant un cofacteur indispensable aux voies métaboliques de dégradation du glucose. Pour produire du NADH, les levures font alors intervenir une autre voie métabolique, en transformant l'éthanol en acétate. Au final, les levures fermentant des moûts très riches en sucres produisent donc beaucoup plus d'acide acétique que dans des conditions classiques.

Les différentes solutions pour limiter cette accumulation excessive d'acidité volatile en début de fermentation alcoolique sont :

- stimuler la croissance cellulaire des levures en apportant l'azote assimilable et la thiamine dans le moût juste avant le démarrage de la fermentation ;
- apporter des bourbes de raisins sains conservés au froid et non fermentés, riches en facteurs de croissance et de survie, à hauteur de 1 à 2 % en tout de début de fermentation alcoolique (Dubourdieu, 1999) ;
- utiliser des levures déjà adaptées aux conditions de richesse en sucres (pied de cuve indispensable, même dans le cas de levures indigènes) ;
- le cas échéant, choisir des levures sélectionnées performantes, voire profiter des nouvelles solutions de co-inoculation (Renault *et al.*, 2010) ;
- fermenter à des températures favorables : 20 à 25 °C ;
- apporter de l'oxygène dans le premier tiers de la fermentation alcoolique lors d'une fermentation en cuve.

Les récents travaux de Renault *et al.* (2010) sur la possibilité de démarrer la fermentation alcoolique de moûts botrytisés avec une souche de *Torulaspora delbrueckii* et de la faire se poursuivre par une souche de *Saccharomyces cerevisiae* (co-inoculation séquentielle) ont montré une baisse de 30 % de l'acidité volatile finale du vin doux et une incidence aromatique positive.

La durée de la fermentation alcoolique de moûts très sucrés peut être variable (de deux semaines à quelques mois), l'idéal étant de la laisser s'arrêter naturellement pour garantir ensuite une plus grande stabilité des vins à l'élevage. Il faut cependant être vigilant afin d'éviter toute déviation bactérienne et toute oxydation excessive.

L'arrêt définitif de la fermentation alcoolique s'opère par addition de dioxyde de soufre :

- directement dans le fût si la fermentation a lieu dans ce contenant. Il faut ensuite bâtonner quotidiennement les vins pendant quinze jours pour éviter tout phénomène de réduction, puis soutirer 1 à 3 mois plus tard ;

25788_vins_blancs.indb 127 13-10-11 12:23 PM

- dans la cuve après un soutirage (et éventuellement un passage au froid) si la fermentation a eu lieu en cuve : attention là aussi à éviter tout phénomène de réduction par remise en suspension régulière des lies fines.

La dose de dioxyde de soufre (SO_2) à utiliser au mutage (étape d'arrêt de la fermentation) dépend de son taux de combinaison dans le vin et du pH. Il faut assurer un minimum de 0,4 mg/L de SO_2 actif, voire 0,6 mg/L si possible. Le passage au froid des vins avant l'addition de SO_2 permet de limiter les quantités d'acides cétoniques libérées lors de l'autolyse des levures et de limiter ainsi les combinaisons du SO_2, ce qui peut être très utile dans le cas des vins issus de raisins botrytisés.

Élevage

L'élevage en fût des vins doux est indispensable au développement de toute la palette aromatique (c'est un peu moins vrai pour les vins issus de raisins passerillés) et à la mise en place d'une structure tannique venant équilibrer la rondeur sucrée de ces vins. Sa durée peut varier de douze à vingt-quatre mois, avec des soutirages tous les trois à quatre mois permettant un nettoyage soigneux des fûts et leur désinfection par méchage. Le SO_2 actif dans les vins doux doit être maintenu à 0,5 mg/L tout au long de l'élevage pour prévenir les risques de refermentation (Divol, 2004).

Une fois l'élevage terminé, un collage à la bentonite peut s'avérer nécessaire pour éviter la casse protéique et un collage à la gélatine couplée au gel de silice apporte en général la brillance finale au vin. Un enzymage juste avant mise peut également permettre une meilleure filtration de ces vins souvent très colmatants, notamment à cause du glucane produit par *Botrytis cinerea*.

Il peut être envisagé de protéger ces vins des précipitations tartriques par les méthodes classiques, mais il faut savoir que les vins doux (en particulier ceux issus de la pourriture noble) sont susceptibles de développer des précipités de tartrate de calcium ou de mucate de calcium, tout à fait inévitables.

Avant la mise en bouteilles, le vin doit être débarrassé de toutes levures, et pour cela, une filtration sur des médias de porosité de l'ordre de 5 µm est généralement suffisante.

Élaboration des vins doux naturels blancs

Les vins doux naturels font partie de la grande famille des vins de liqueur méditerranéens.

Élaborés en France et en Grèce, ils répondent à une définition commune, déclinée en fonction des cahiers des charges des différentes appellations.

Définition commune :

- cépages Grenaches (blanc, gris, noir), Macabeu, Malvoisie (Tourbat), Muscat à petits grains et Muscat d'Alexandrie ;
- rendement parcellaire n'excédant pas 40 hL/ha, dont on ne peut muter que 30 hL/ha ;
- teneur en sucres minimale du raisin : 252 g/L ;
- mutage en cours de fermentation à l'alcool neutre d'origine vinique à 96 % volume minimal dans une proportion de 5 à 10 % du volume de moût mis en œuvre ;
- teneur du vin fait en alcool 15 % volume minimal – alcool total (alcool acquis + alcool en puissance) supérieur à 21,5 % volume – teneur en sucres minimale 45 g/L.

25788_vins_blancs.indb 128 13-10-11 12:23 PM

Les appellations :

- Muscat du Cap Corse, Muscat de Beaumes de Venise, Muscat de Lunel, Muscat de Frontignan, Muscat de Mireval, Muscat de Saint-Jean-de-Minervois, Muscat de Rivesaltes et Muscat de Samos Grand Cru ;
- Rasteau, Maury, Banyuls, Banyuls Grand Cru et Rivesaltes.

Techniquement, on peut séparer les VDN blancs en deux catégories :

- les Muscats, caractérisés par l'arôme du cépage, en général de consommation rapide et conservés à l'abri de l'oxydation ;
- les autres VDN blancs principalement élaborés avec des cépages non aromatiques (Grenaches, Macabeu, Malvoisie) et le plus souvent soumis à un élevage oxydatif (VDN ambrés).

Mutage

Opération commune à tous les vins doux naturels, le mutage intervient en cours de fermentation, plus ou moins tôt en fonction de la quantité de sucres résiduels désirée dans le vin à (densité comprise entre 1 035 et 1 050 suivant la maturité du raisin).

L'addition d'alcool se fait sous forme pure ou dénaturée à 50 % avec du moût. Pour une meilleure efficacité, elle s'accompagne en général d'un sulfitage (8-10 g/hL) qui vient compléter l'action sur les levures.

Les Muscats sont parmi les VDN les plus doux. Ils sont mutés de façon à conserver entre 95 et 125 g de sucres/L, suivant les appellations. Un mauvais arrêt de fermentation entraîne à la fois une diminution de la teneur en sucres et l'apparition de notes d'oxydation (production d'éthanal par les levures).

Muscats

Les raisins et vins de Muscat sont caractérisés par la présence, en forte quantité, d'arômes variétaux : les terpénols.

La qualité organoleptique des Muscats est liée aux notions d'intensité et de caractère variétal (donc à la présence de terpénols) mais aussi à la présence d'arômes fermentaires, en particulier les esters (acétate d'isoamyle), qui participent à la notion de finesse aromatique (Bayonove *et al.*, 1982). La présence de thiols (révélés par certaines souches de levure) confère des nuances aromatiques particulières qui sont parfois recherchées (Cutzach-Billard, 2006).

Les technologies de vinification visent donc à :

- extraire les arômes variétaux : suivant la richesse aromatique du raisin, la vinification se fera par pressurage direct ou par macération pelliculaire. Plus exceptionnellement sera utilisé le mutage sur marc (ou sur grain), suivi d'une macération sous alcool. Cette technique permet une très forte extraction des arômes contenus dans la pellicule, mais également de composés phénoliques peu favorables à la qualité (supports d'oxydation-saveur tannique). Ces cuvées, uniquement élaborées dans les caves importantes, sont utilisées par touches dans des assemblages ;
- développer les arômes fermentaires : la technologie se rapproche sensiblement de celle des vins blancs secs avec débourbage, levurage, fermentation à température régulée ;
- développer et protéger les arômes : élevage sur lies, protection contre les oxydations.

25788_vins_blancs.indb 129 13-10-11 12:23 PM

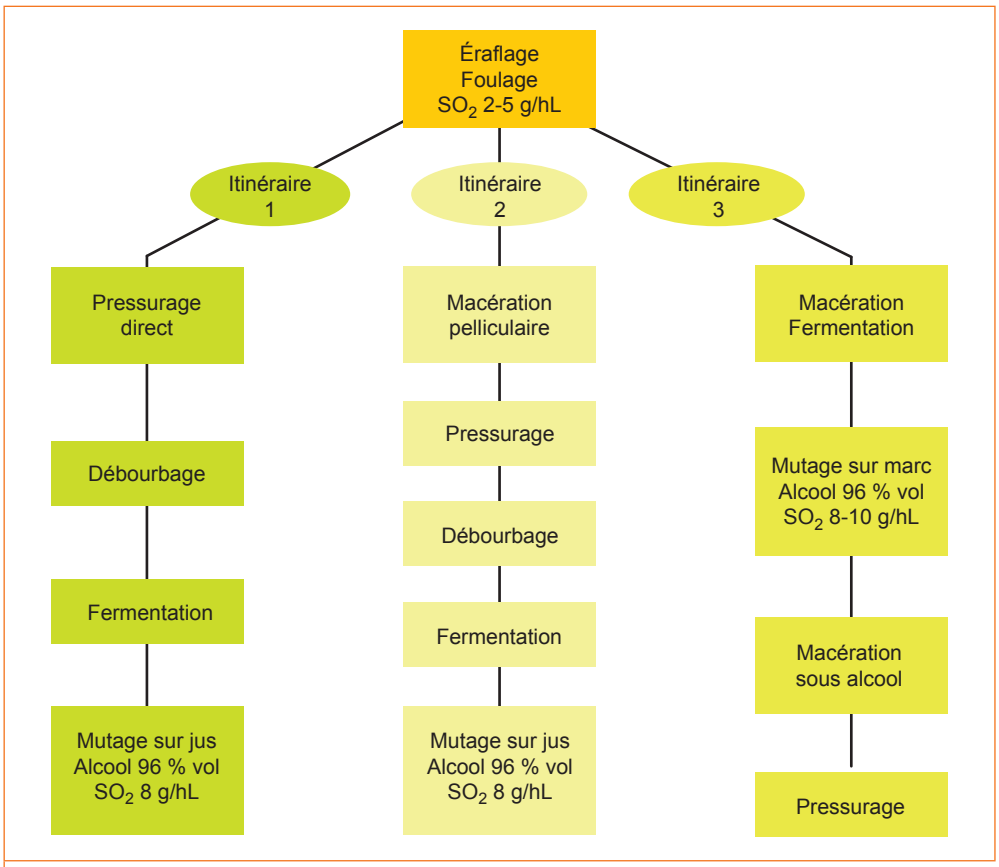


Figure 4.4 : Itinéraires de vinification des Muscats

Conservation et élevage (sur lies) se font à l'abri de l'air. Ces vins sont en général mis sur le marché et consommés dans les un à deux ans après la récolte.

Ils sont de couleur claire, dorée, avec des arômes frais de raisin, fruits exotiques, fleurs… et parfois des notes thiolées.

En vieillissant en bouteilles, ils acquièrent des notes de miel et de raisin sec.

Exceptionnellement, certains subissent un élevage oxydatif qui les rapproche de la catégorie des VDN ambrés (notes de fruits secs et d'orange confite).

Vins doux naturels blancs et ambrés (Banyuls, Maury, Rasteau et Rivesaltes)

Ces vins sont élaborés avec l'ensemble de l'encépagement des VDN, en proportions variables selon les cahiers des charges (y compris les Muscats).

Les méthodes de vinification ne sont pas sensiblement différentes de celles des Muscats (itinéraires 1 et 2).

25788_vins_blancs.indb 130 13-10-11 12:23 PM

Tableau 4.1 : Vins blancs doux ambrés

	Blancs	Ambrés
Appellation	Banyuls – Maury – Rasteau	Banyuls – Maury – Rasteau – Rivesaltes
Temps d'élevage	Jusqu'au 1er mai de l'année qui suit la récolte	Jusqu'au 1er mars de la 3e année qui suit celle de la récolte
Conditions	Milieu réducteur dont 3 mois minimum en bouteilles	Milieu oxydatif
Couleur	Pas de norme	Intensité colorante (DO 420 nm + DO 520 nm) < 2,5

Les cahiers des charges des appellations prévoient des méthodes et temps d'élevage spécifiques.

Les « blancs », élevés en milieu réducteur, conservent une couleur d'or clair et des notes aromatiques discrètes, de fruits frais et de miel, souvent soutenues par des notes vanillées apportées par la vinification et (ou) l'élevage dans des bois relativement neufs (Seguin et Torrès, 1989).

Les « ambrés » acquièrent leur couleur à l'oxydation, le plus souvent dans des contenants de bois (cuves, foudres, demi-muids, barriques...) plus ou moins âgés soumis à des variations de température. En parallèle, les arômes évoluent sur des notes oxydatives de type fruits secs, caramel, café, écorce d'orange confite et, sur les vins les plus vieux, « rancio » (Seguin et Torrès, 1989). Ces nuances aromatiques sont liées à la présence de furfural (amande grillée), de 5-éthoxyméthylfurfural (cannelle, noix, fruits secs) et surtout de sotolon (figue sèche, rancio) (Cutzach-Billard, 1999).

Vins spéciaux

Il est difficile d'aborder ce paragraphe avec l'ambition de l'exhaustivité tant le nombre et le type de vins spéciaux ou originaux est grand. De plus, à quelques rares exceptions près, ces vins font souvent l'objet d'une production confidentielle, consommée localement, ce qui les rend « furtifs » aux yeux de la majorité des buveurs universels.

Pour une meilleure compréhension, nous allons essayer de classer ces vins par grandes familles, qui pourraient se décliner ainsi :

- les vins issus de la concentration par le froid ou vins de glace ;
- les vins issus de la concentration par passerillage ;
- les vins issus de moûts enrichis par addition de raisin sec, ou pourris noble ;
- les vins issus d'un élevage sous voile de levures ;
- les vins cuits ;
- les vins aromatisés ;
- les autres vins.

25788_vins_blancs.indb 131 13-10-11 12:23 PM

Vins issus de la concentration par le froid ou vins de glace (*Icewines*)

Ces vins sont issus de moût obtenu par un pressurage de raisins congelés. Cette pratique ancienne se retrouve dans différentes régions du monde. Elle met en application le principe de la loi de Raoult qui veut qu'un liquide présentant une concentration de soluté importante se congèle à une température plus basse qu'un liquide moins concentré. Ainsi, en pressurant des raisins à une température voisine de – 8 °C, seules les baies très riches en sucres sont décongelées et libèrent leur jus. Les grappes moins mûres sont encore congelées et ne sont pas extraites. Le jus qui s'écoule du pressoir est de ce fait bien plus riche en sucre que si le pressurage avait concerné la totalité de la vendange. Ce procédé est utilisé dans les régions particulièrement gélives en automne où il est possible de vendanger à température ambiante très basse. C'est le cas des vignobles rhénans, allemands ou français. Des vins de glace sont en outre élaborés en Amérique du Nord, dans la région des Grands Lacs, où le cépage Vidal donne d'excellents *Icewines*. Depuis peu, on retrouve également cette pratique dans l'élaboration de vins au Nord-Est de la Chine.

Ce procédé peut aussi être réalisé de façon artificielle. La cryo-extraction sélective, imaginée par Chauvet en 1986, est fondée sur le pressurage de raisins préalablement congelés en chambre froide. Cette technique, comme la concentration par le froid naturel, n'entraîne pas de modification d'arômes. En revanche, la technique naturelle requiert un maintien des raisins en surmaturité sur cep, qui peut se traduire par des modifications du profil odorant des vins.

Les moûts obtenus après pressurage sont vinifiés comme les autres liquoreux. Les vins après fermentation gardent une richesse en sucre et une concentration très importante.

Vins issus de concentration par passerillage

Ces vins se retrouvent dans de nombreux pays, en particulier ceux qui bénéficient d'un climat chaud et sec. Le passerillage consiste à concentrer les raisins par évaporation de l'eau de constitution. Cette évaporation est provoquée par une exposition à l'action combinée de la température et d'un courant d'air sec. Plusieurs options conduisent à ce résultat : soit par le maintien des grappes sur le pied après la surmaturité, soit par le dépôt de ces dernières sur un sol pierreux après la cueillette. On peut aussi passeriller les raisins en les déposant sur des clayettes ou sur de la paille dans un local aéré (cas du vin de paille dans le Jura ou du vin Santo en Italie). Les raisins ainsi conservés perdent beaucoup d'eau (pour le vin de paille 100 kg de vendange donnent 18 L de moût). Outre la concentration en sucre qui pourra atteindre 310 à 350 g/L et en différents autres éléments (acides, cations…), les vins issus de ce procédé présentent une spécificité aromatique particulière liée aux réactions d'oxydation qui accompagnent le maintien pendant plusieurs semaines des raisins dans ces conditions de température et de ventilation. Au terme de ce traitement, les raisins sont pressurés et les jus sont vinifiés pour obtenir des vins liquoreux.

Vins issus de moûts enrichis par addition de raisin secs ou de grains nobles

De tout temps, des raisins secs ont été utilisés en vinification directe ou pour relever le degré d'une vendange immature, ou bien encore comme source de sucre et d'édulcoration pour obtenir un vin doux. Certaines vendanges peuvent aussi atteindre des degrés potentiels proches de 20 lorsqu'une partie des raisins récoltés a séché sur pied. Dans ce cas, le sucre de ces derniers est extrait par simple macération de quelques heures après foulage.

25788_vins_blancs.indb 132 13-10-11 12:23 PM

Les raisins atteints par la pourriture noble sont utilisés pour élaborer des vins spécifiques qui font l'objet d'un paragraphe dans cet ouvrage, mais ils peuvent aussi être utilisés comme source de sucre et d'arôme dans d'autres vins. L'exemple le plus connu aujourd'hui est celui du Tokay, ou Tokaji, produit principalement en Hongrie. Pour élaborer ce vin, des marcs issus de pourriture noble (Aszu) sont mis à macérer dans un vin de base. L'unité de ce marc est le *puttony* (nom d'une hotte en Hongrois), d'une valeur de 25 kg. Lors de l'élaboration du Tokay, on peut faire macérer de 3 à 6 puttonyos dans 100 L de vin de base. À l'issue de cette macération qui dure 24 à 48 heures le vin est filtré et mis en barrique pour être élevé deux ans minimum, l'élevage continuera un an supplémentaire en bouteille ou en cuve. Les Tokay de 3 puttonyos contiennent au minimum 60 g de sucre/L, ceux de 6 puttonyos au moins 150 g de sucre/L. Les vins issus de cette technique présentent des arômes d'évolution oxydative mêlés aux arômes de vins originaires de pourriture noble.

Vins issus d'un élevage sous voile de levure et rancios

Il existe deux exemples de vin bien connus faisant appel au procédé d'élevage sous voile de levure : le vin jaune du Jura en France et le Xérès en Espagne. Au cours de l'élevage de ces vins dans des barriques en vidange, des levures (*Saccharomyces cerevisiae* var. *beticus*) se développent à la surface du liquide en formant un voile. Ce dernier doit se former rapidement au risque de voir le vin se dégrader par oxydation chimique ou par piqûre. Ces levures adoptent un métabolisme aérobie en oxydant l'alcool éthylique en éthanal. Elles possèdent également une activité thréonine désaminase qui, à partir de cet acide aminé, conduit à l'acide α-cétobutyrique. Ce dernier s'associe à l'éthanal dans une réaction d'aldolisation et la nouvelle molécule formée se cyclise pour former une lactone : le sotolon. C'est cette dernière qui confère au vin jaune ou au Xérès leur arôme typique de noix verte et de curry. Mais ces réactions ne sont pas immédiates et l'obtention d'un grand vin jaune ou d'un grand Xérès requiert de nombreuses années d'élevage.

Pour le vin jaune, six ans d'élevage en barrique sont nécessaires, sans soutirage et sans rupture du voile de levure. Cet élevage n'est pas sans risque et le pH bas de ces vins limite quelque peu le développement de bactéries comme *Acetobacter aceti* qui pourraient altérer le vin.

Dans le cas du Xérès, le protocole d'élevage est différent : on utilise la solera. Après un élevage statique en barrique de douze à vingt-quatre mois, les vins sont mis en criadera, nom qui désigne un empilement de barriques sur trois niveaux. Le niveau de base au contact du sol est appelé solera, les niveaux au-dessus sont appelés première et deuxième criadera. Le vin fini, le plus ancien, est tiré de la solera (on en retire un tiers). Cette dernière est alors recomplétée par du vin de l'étage supérieur et ainsi de suite : le vide laissé dans la première criadera est complété par le vin de la deuxième criadera et cette dernière est enfin remplie avec du vin jeune. Cette pratique consiste en une série de soutirages d'une barrique à l'autre et présente le mérite d'uniformiser la production. Au cours de ce soutirage, il faut veiller à ne pas détruire la « flor », nom donné au voile de levures. Les Espagnols ont coutume de dire que le vin vieux élève le vin jeune. Les vins de Xérès sont vinés jusqu'à des valeurs de 15,5 à 20°GL, avec une eau-de-vie neutre, avant passage en solera. Cette addition leur confère une certaine stabilité, en particulier vis-à-vis de micro-organismes peu tolérants à l'alcool. La technique de la solera permet d'obtenir des vins secs, à l'arôme très puissant de noix verte. Il existe plusieurs types de Xérès. Les amateurs distingueront les Finos moins vinés, plus fins, des Olorosos plus charnus et capiteux. Parmi les Finos, la Manzanilla, élevés en bord de mer, est le Xérès le plus pâle et le plus léger.

L'arôme de noix et de curry se retrouvera aussi dans les vins blancs secs appelés rancios. Ces vins sont issus d'un élevage oxydatif en barriques en vidange. Ils ne présentent pas obligatoirement de voile en surface et on peut considérer leur oxydation comme purement chimique.

25788_vins_blancs.indb 133 13-10-11 12:23 PM

Dans ces conditions, l'apparition de l'odeur rancio nécessite un plus grand nombre d'années que dans les cas des vins sous voile, où les levures accélèrent les transformations. Ces vins rancios secs font l'objet d'une reconnaissance en Roussillon où ils sont une tradition.

Vins cuits

Ce terme de vin cuit est souvent improprement utilisé pour qualifier tous les vins doux mutés à l'alcool et vieillis de façon oxydative à température ambiante.

Il existe pourtant de vrais vins cuits dont les représentants les plus connus sont le Marsala en Sicile et le Madère élaboré sur l'île éponyme. L'histoire raconte que ces vins doivent leur technique d'élaboration particulière aux observations faites autrefois par les marins. En effet, ces derniers trouvaient les vins meilleurs après qu'ils aient séjourné plusieurs jours à des températures très chaudes au passage des tropiques et de l'équateur. C'est ainsi que les vinificateurs ont eu recours au chauffage des moûts ou des vins pour tenter de reproduire les odeurs et saveurs de ces vins voyageurs. Il est amusant de noter que, deux siècles et demi plus tard, une technique de laboratoire incluant un long passage en étuve à 45 °C a été mise au point pour permettre la révélation et l'analyse de l'arôme d'évolution des vins.

Le Marsala, inventé en 1773 par John Woodhouse, n'est pas exclusivement élaboré avec du moût cuit, le goût en serait trop fort. Il résulte d'un assemblage de vin blanc, de moût cuit, d'alcool et de mistelle. Le moût cuit, appelé ambra, est obtenu par chauffage pendant 24 heures dans des chaudrons, ce qui lui donne une couleur très sombre. De l'alcool est alors ajouté dans ce moût pour précipiter les colloïdes et aider à sa clarification. L'ensemble est ensuite assemblé avec du vin blanc et de la mistelle pour donner les différents types de Marsala. Un vieillissement en fût plus ou moins long (un à cinq ans) permet de hiérarchiser le Marsala fine, le Marsala superiore et le Marsala superiore riserva. Le moût cuit apporte la couleur, une petite odeur de réglisse et une légère amertume finale.

Comme le Marsala, le Madère subit l'épreuve du feu ; dans ce cas, il ne s'agit pas d'une cuisson dans des chaudrons, mais d'un passage à l'étuve (estufa) à 50 °C pendant trois mois minimum. Avant ce chauffage, le vin de base utilisé est muté à l'alcool. Après refroidissement, le Madère présente cette pointe de caramel qui permet de le reconnaître. On distinguera les Madères de Malvoisie (Malmsey) et de Boal (Bual), des Madères plus secs élaborés à partir de Verdelho et de Sercial. Comme pour le Marsala, la durée du vieillissement en barriques permet de distinguer différents types de Madère Finest (trois ans de fût), Réserve (cinq ans) et Spécial Réserve (au moins dix ans de fût). Mais les amateurs vous venteront l'excellence des Madères vieillis vingt ans à la chaleur naturelle de l'île, dans des fûts de 600 L, sans passage par l'estufa.

Vins aromatisés

La pratique de l'aromatisation des vins est très ancienne et remonte à la plus haute antiquité. L'utilisation d'ingrédients aromatiques avait vraisemblablement pour intérêt de masquer les défauts qui ne manquaient pas d'apparaître dans les conditions de vinification et de conservation de l'époque. Certains produits comme la résine et la pois ont été utilisés pour protéger les vins de l'air et, très certainement, elles transmettaient leurs arômes aux vins.

L'exemple de vin aromatisé le plus connu est le Retsina grec. Il s'agit d'un vin blanc sec ayant subi une addition de résine de pin avant fermentation. Son origine date de la Grèce antique, à l'époque où les amphores étaient utilisées comme contenants. Ces amphores étaient souvent

25788_vins_blancs.indb 134 13-10-11 12:23 PM

stockées verticalement sur un lit de sable ou horizontalement pour gagner de la place sur les bateaux. Les vins étaient additionnés de résine pour tenter de les protéger d'une dégradation ou de l'oxydation (certaines résines présentent des caractéristiques antioxydantes). Mais surtout cette résine apportait au vin une puissante odeur caractéristique qui rattrapait en partie les mauvaises odeurs. En effet, selon la dose ajoutée, le vin pouvait présenter des notes de pin, d'eucalyptus ou de menthe.

Plus récemment, une autre théorie a voulu que le vin de Retsina ait été conservé dans des tonneaux en bois de pin qui libéraient leur résine dans le vin. Cette technique n'est pas utilisée et aujourd'hui les Retsinas sont élaborés par addition de résine (moins d'1 kg/hL), tirée de *Pinus halepensis*, dans le moût au tout début de la fermentation.

Parmi les vins aromatisés, il est difficile de ne pas évoquer les apéritifs à base de vin et autres vermouths, qui connurent leur heure de gloire pendant la première moitié du XXe siècle. Ces vins, parfois vinés à l'alcool et édulcorés par addition de mistelles, sont aromatisés par des macérations de cocktails de parties de plantes ou de fruits, séchés ou distillés. Dans ces mélanges complexes, on retrouve souvent le quinquina, les écorces d'orange ou de citron, la coriandre, la gentiane, des épices, et bien d'autres extraits encore. Pour certains vins, l'aromatisation pourra également utiliser des distillats.

Avec la même démarche, certains vignerons ont essayé de reproduire des vins tels qu'ils étaient élaborés par les Romains au tout début de notre ère. Des recettes d'aromatisations à base de fenugrec, de racine d'iris ou d'absinthe ont été retrouvées et testées avec plus ou moins de bonheur. Toutefois, ces vins ont le mérite d'attiser notre curiosité et de stimuler notre imagination.

Autres vins

Pour clore ce chapitre dans lequel nous aurions pu parler d'autres vins singuliers tant il apparaît que l'imagination des hommes, dans leur quête de plaisir, les a conduits aux expériences les plus inattendues, nous devons évoquer les vins issus de pratiques que nous pourrions qualifier d'antiœnologiques. Nous voulons parler des vins blancs de longue macération. Deux exemples peuvent être cités :

- les vins de Moscatel produits dans la région du Secano au Chili, obtenus après une macération d'une semaine dans des cuves ouvertes en plein soleil. La fermentation s'opérant pendant cette macération, en présence des rafles, conduit à des vins qui n'ont de blanc que le nom ;
- les vins du cépage Rkatziteli, vinifiés au monastère orthodoxe d'Alaverdi en Géorgie. Ces vins sont obtenus après une macération de plusieurs mois avec la rafle, en jarres enterrées. Il s'agit certainement d'une des plus anciennes pratiques de vinification encore utilisée. Ces vins ont des caractéristiques oxydatives évoquant les Xérès mais en moins puissants ; ils possèdent aussi des arômes terpéniques d'agrumes et laissent à tous ceux qui les ont bus un souvenir inoubliable… Heureusement, le Rkatziteli est aussi vinifié de façon plus conventionnelle et donne d'excellents vins.

Nous aurions pu également parler des vins vinifiés dans des conditions improbables, comme ceux du domaine EgiaTegia au Pays basque, qui fermentent quelques mètres sous le niveau de l'océan, ou bien encore ceux élaborés dans des récipients aux formes les plus délirantes et aux vertus insoupçonnées, mais cela nous entraînerait bien trop loin…

25788_vins_blancs.indb 135 13-10-11 12:23 PM

Vinification biologique

Jusqu'à l'adoption du nouveau règlement européen sur les productions biologiques le 1er janvier 2009, les vins étaient exclus de ce règlement, c'est-à-dire que seuls les raisins pouvaient être certifiés biologiques et permettaient d'élaborer des « vins issus de raisins biologiques ». Quelle que soit l'origine des raisins (biologiques ou non), les règles de vinification étaient celles du règlement européen sur les vins (règlement (CE) n° 606/2009).

La Commission a finalement proposé un nouveau texte suite à l'échec de juillet 2010. Le consensus était obligatoire car il devenait impossible de communiquer sur un produit « issu de l'Agriculture biologique », mention devenant facultative. Seule la dénomination « produit biologique », associée au nouveau logo de la feuille verte étoilée, devient obligatoire au 1er août 2012. Le texte a été voté le 7 février et est paru au Journal officiel de la Communauté européenne le 8 mars 2012 pour une application au 1er août 2012 (règlement n° 203/2012 modifiant le règlement (CE) n° 889/2008 portant modalités d'application du règlement (CE) n° 834/2007).

Le texte ci-dessous prend comme référence le règlement (CE) n° 606/2009, en restreignant un certain nombre de pratiques œnologiques et en fixant quelques règles plus contraignantes.

Principales modifications affectant toutes les vinifications

Produits interdits

Les choix réalisés peuvent avoir de multiples motivations et directement en relation avec des recherches de consensus entre les différents états. Il est alors difficile d'expliquer les choix réalisés avec les mêmes critères de décision.

Ne sont pas retenus : alginate de Ca, polyvinylpolypyrrolidone (PVPP), copolymère de polyvinyl imidazole/polyvinyl pyrolidone (PVI/PVP), silicate d'alumine (kaolin), tartrate de Ca, uréase, acide sorbique, sorbate de potassium, argon (barbotage), dicarbonate de diméthyle (DMDC), isothiocyanate d'allyle (huile de paraffine), lysozyme, ferrocyanure de K, phytate de Ca, sulfate d'ammonium, sulfite d'ammonium, sulfate de cuivre (à partir de 2015), bétaglucanase, mannoprotéines, acide malique.

Les nouvelles pratiques œnologiques autorisées dans la réglementation additionnelle (règlement (CE) n° 53/2011) ou les futures pratiques autorisées en conventionnel ne sont pas autorisées (en cours d'adoption à l'OIV par exemple). Elles devront suivre une procédure spécifique, décrite dans le nouveau règlement, afin d'être éventuellement intégrées comme pratique œnologique admise (gomme de cellulose – carboxyméthylcellulose : CMC –, chitine-glucane et chitosane, acidification par traitement éléctromembranaire).

Limitation des doses de SO_2

Il est a été décidé une baisse de – 50 mg/L pour les vins rouges et blancs secs dont les sucres résiduels sont inférieurs à 2 g/L et pour toutes les autres catégories – 30 mg/L par rapport aux normes en vigueur pour les vins conventionnels. Il est donc créé une catégorie de vin supplémentaire compris entre 2 et 5 g/L de sucre résiduel par rapport à la réglementation générale. Ces limitations entraînent des variations faibles en pourcentage pour les vins à sucres résiduels importants (*tableau 4.2*).

25788_vins_blancs.indb 136 13-10-11 12:23 PM

Tableau 4.2 : Nouvelles limitations du SO_2 en fonction des catégories de vin par rapport aux limites actuelles en vin conventionnel

	Limites en vin conventionnel	Limites en vins biologiques			
		−50 mg/L	en %	−30 mg/L	en %
Vins rouges < 2 g/L sucres résiduels	150	100	33		
Vins blancs < 2 g/L sucres résiduels	200	150	25		
Vins rouges entre 2 et 5 g/L sucres résiduels	150			120	15
Vins blancs et rosés entre 2 et 5 g/L sucres résiduels	200			170	12
Vins moelleux (non botrytisés)	290			260	10
Vins moelleux (raisins botrytisés)	390			360	8

Techniques physiques interdites

- Élimination des sulfites par des techniques physiques.
- Électrodialyse pour la stabilisation tartrique.
- Cryo-concentration (sur vin).
- Désalcoolisation partielle des vins.
- Traitement avec des échangeurs cationiques pour la stabilisation tartrique, acidification par électrodialyse à membrane bipolaire.

Techniques soumises à restriction

- Filtrations autorisées sous réserve que le seuil de coupure soit supérieur à 0,2 µm.
- Traitements thermiques autorisés mais avec une température maximale de 70 °C.

Techniques à valider en 2015

- Osmose inverse (auto-enrichissement des moûts).
- Résines échangeuses d'ions pour la fabrication des moûts concentrés rectifiés (MCR).
- Traitements thermiques limités à 70 °C.

Modifications pouvant impacter la vinification en blanc

La diminution des doses de SO_2 entraîne la nécessité de bien maîtriser les étapes de sulfitage afin de rester inférieur à la limite admise pour le vin fini. D'après les enquêtes réalisées (AIVB-LR, 2010), ceci ne devrait pas poser de problème particulier, la grande majorité des cuvées étant très inférieure aux limites proposées en vin sans sucres résiduels. Indépendamment des bonnes pratiques de vinification, pour réduire l'utilisation des sulfites, il sera fondamental de choisir correctement sa souche de levure. En effet, la production de SO_2 par les levures peut atteindre des concentrations importantes, même sans ajout de sulfite au cours de la vinification (Cottereau *et al*, 2011). En cas de fermentation spontanée, il faudra espérer que les souches indigènes n'en produisent pas trop.

25788_05_partie4-1.indd 137 13-10-17 11:09 AM

Les colles utilisées pour la clarification des moûts et des vins sont admises. Il est cependant demandé pour les protéines et les tanins que leurs origines soient biologiques, de préférence, et disponible sur le marché. À ce jour, il existe très peu de produits certifiés « bio » ou parfois une seule référence comme pour l'albumine d'œuf et gélatine par exemple, mais ce n'est pas le cas pour l'instant pour les tanins, la colle de poisson ou colle protéique.

Cette même origine est préconisée pour les levures. En 2012, seules quatre souches étaient disponibles sur le marché pour plus de 300 souches commercialisées.

Des règles d'interprétation seront données par l'Institut national des appellations d'origine (INAO).

Une autre problématique pourrait être importante pour les vins biologiques et concerne l'obligation éventuelle d'un affichage du caractère « risque allergène » pour les colles protéiques comme celles issues du poisson, du lait ou de l'œuf. Des alternatives avec les colles végétales existent et de nouveaux produits sont aussi en cours de reconnaissance.

Concernant la caséine pour son pouvoir d'élimination de composés bruns provenant de l'oxydation des moûts ou des vins, l'alternative en conventionnel est l'utilisation de la PVPP qui est non autorisée en bio et reste sans solution à ce jour.

Les autres contraintes et restrictions ne devraient pas entraîner de gêne particulière dans la vinification en blanc biologique.

25788_vins_blancs.indb 138 13-10-11 12:23 PM

11

La récolte : caractérisation de la vendange

La détermination de la date de récolte est un point crucial qui a des impacts en termes économiques. En effet au cours de la maturation, les composés de la baie évoluent de manière quantitative (sucre, polyphénols) mais également de manière qualitative (acides, arômes, azote…). Au vu de l'importance de ces teneurs sur l'aptitude à la transformation de la vendange et la qualité du produit final, de nombreux outils ont été proposés depuis les années 2000, qui essaient d'appréhender de façon plus aisée que l'analyse laboratoire, les évolutions des composés clés.

Principaux facteurs de détermination de la date de récolte

Les composés qui semblent importants à suivre sont avant tout encore la quantité en sucres et l'acidité. Ceci est d'autant plus vrai pour les vins blancs dans lequel l'équilibre acide est une partie essentielle des spécificités des produits. Le ratio sucre/acidité peut certes passer pour un indice passe-partout, mais il reste vrai qu'il permet de distinguer, selon sa valeur, des vendanges destinées à l'élaboration de vin de distillation, de vins effervescents, de vins blanc tranquilles plus ou moins vifs, et enfin de vins blancs de type liquoreux. Chaque production a ses propres standards en la matière, l'expérience de l'œnologue est primordiale et il reste hasardeux de fixer des normes. Reprenons à titre d'exemple la situation décrite par Carbonneau (1998) sur le Muscat à petits grains (*tableau 4.3*).

L'azote assimilable est aussi un paramètre majeur pour le vinificateur puisque, comme développée dans les parties suivantes, sa teneur conditionne en partie la fermentescibilité des moûts et donc le bon achèvement des fermentations. Quantité et qualité de l'azote ont également une influence sur le profil aromatique des vins de part les liens entre métabolisme azoté de la levure et biosynthèse de composés volatils fermentaire, libération de thiols variétaux et préservation du potentiel en diméthylsulfure (*cf.* p. 21).

Tableau 4.3 : Rapport S/A à atteindre selon la destination de la vendange (cas du Muscat à petit grain) (d'après Carbonneau, 1998)

	Sucres (g/L)	Acidité (meq/L)	S/A
Effervescent (type Clairette de Die)	160	150	≅ 50
VDN	220	50	≅ 220

25788_vins_blancs.indb 139 13-10-11 12:23 PM

Les teneurs en polyphénols ne sont pas non plus à négliger, même si elles revêtent moins d'importance que dans le cas de la vinification en rouge et en rosé. Dans le cas d'élaboration de vins de type thiols, il semble en effet qu'il faille limiter les teneurs en polyphénols des raisins, pour éviter des phénomènes d'oxydation importants dans les vins en bouteilles, mais dans ce contexte, peu d'éléments chiffrés existent, et les technologies préfermentaires comme le collage des moûts peuvent permettre de s'affranchir de cet écueil.

Enfin, il ne faut pas oublier la qualité sanitaire des raisins, et notamment la présence de *Botrytis cinerea*, dont les effets néfastes en termes d'aptitude à la transformation et de qualité organoleptique ont été détaillés dans la partie correspondante (*cf.* p. 45).

Au-delà des critères classiques de suivi de la maturation, il est possible d'anticiper une date de vendange sur raisin blanc en se basant sur une certaine constance du cycle végétatif. Ainsi, la détermination de la date de mi-véraison permet de prévoir une date théorique des vendanges. Sur raisin blanc, la durée moyenne est de quarante-cinq jours entre la véraison et la récolte. Cette durée est variable entre les millésimes et les cépages. Sur Colombard, la plage s'étend entre quarante et cinquante-cinq jours d'après Dufourcq *et al.* (2006). La détermination de la date de mi-véraison sur raisins blancs est plus complexe que sur raisins rouges. L'estimation basée sur l'aspect visuel d'une modification de la couleur de la baie (passage du vert au jaune) est complexe et est souvent complétée par une mesure manuelle de l'élasticité de la baie. L'expérience du réalisateur est primordiale. Aucun outil ne permet aujourd'hui de s'affranchir de cette expertise. La pénétrométrie et la vision numérique sont deux technologies en cours d'étude qui faciliteraient la détermination de la date de mi-véraison.

La pénétrométrie et plus généralement les mesures des propriétés mécaniques des baies sont également susceptibles de renseigner sur la maturité des raisins. Des résultats en ce sens ont été publiés récemment (Rolle *et al.*, 2012) mais pour le moment aucun instrument de terrain n'est disponible.

Capteurs et qualité de la matière première

Le suivi des différents constituants de la baie de raisin au cours de la maturation a pour objet de définir le potentiel qualitatif de la vendange et de tenter de déterminer une date optimale de récolte. Les critères d'identification de la qualité sont multiples, nous l'avons vu, mais surtout en partie dépendants du profil de produit souhaité.

De nombreux indices sont donc à la disposition du vinificateur pour mieux appréhender la qualité de la matière première. L'enjeu réside dans la manière d'acquérir ces indices : elle doit être fiable, rapide, économe et enfin utile pour permettre à son utilisateur de prendre une décision.

De l'observation visuelle à la dégustation en passant par l'analyse chimique, beaucoup de méthodes ont été éprouvées. Une nouvelle génération d'outils émerge dans la filière viticole depuis le début du XXIe siècle, il s'agit des capteurs. Ces capteurs sont adaptés à différentes échelles de l'information. Ils peuvent être fixes, au sol ou sur la vigne, au quai de réception et au laboratoire ou embarqués sur des engins roulants, aéroportés, satellitaires, ou tout simplement piétons. Chaque capteur utilise une technologie particulière pour apporter de l'information à son utilisateur (Roger, 2009).

Dans le cadre de la caractérisation de la matière première, les outils technologiques prennent place au laboratoire, au quai de réception et au champ (Serrano, 2011). Ils s'attachent à définir

25788_vins_blancs.indb 140 13-10-11 12:23 PM

différentes maturités et autres indices précédemment cités. Mais l'intérêt des capteurs repose sur deux aspects : une grande facilité d'acquisition de l'information, la rendant plus rapide et plus représentative à l'échelle de la parcelle, et la mise à disposition d'indices originaux pour caractériser la maturité du raisin.

L'exploitation en routine de ces technologies peut nécessiter une expertise des paramètres fournis pour répondre efficacement aux attentes des utilisateurs.

Les parties suivantes aborderont différents types de capteurs et diverses technologies. Tous ne sont pas commercialisés au moment de l'impression de cet ouvrage. Nous nous attacherons à illustrer leurs potentialités démontrées.

Différentes technologies associées aux capteurs

Fluorimétrie

PRINCIPE

La fluorimétrie repose sur la fluorescence de la chlorophylle ou lumière réémise. L'émission d'un ou plusieurs rayons de lumières (généralement ultraviolet – UV) va exciter les électrons des molécules de certains composés, ceux-ci émettant à leur tour de la lumière de plus basse énergie. Les flavonols de l'épiderme et les anthocyanes de la baie de raisin font écran à la chlorophylle. Leur présence plus ou moins importante atténue ainsi la lumière réémise par la chlorophylle (Bilger, 1997). La fluorescence émise est donc la résultante de la teneur en chlorophylle et de celle en flavonols et anthocyanes.

OUTILS

Dualex® et Multiplex® sont des capteurs optiques portables basés sur la fluorimétrie utilisables en viticulture. Conçus par la société Force-A, ils réalisent en temps réel, des mesures non destructives des flavonols et de la chlorophylle. Dualex® est une pince à feuilles tandis que Multiplex® est adapté pour réaliser des mesures sur grappes sur 8 cm de diamètre.

Sur raisins rouges, le suivi au cours de la maturation des anthocyanes et flavonols est pertinent et permet d'établir une dynamique de maturation polyphénolique (Multiplex®) (Cerovic *et al.*, 2008) ; dans le cadre d'une production de vins blancs, la fluorimétrie est utilisée essentiellement pour anticiper le niveau d'azote assimilable des moûts à la vendange. Le Dualex® mesure alors l'absorbance dans une longueur d'onde de l'UV (flavonols) et la transmittance dans deux longueurs d'ondes de l'infrarouge (chlorophylle).

Proche infrarouge (PIR)

PRINCIPE

La spectroscopie proche infrarouge vibrationnelle (PIR) utilise la gamme de longueurs d'onde entre 700 et 2 500 nanomètres. Elle permet de mesurer de manière non destructive et non invasive la composition en molécules d'intérêt de différents produits. Des méthodes chimiométriques assurent à partir des spectres acquis une extraction de l'information sur la composition chimique de la surface mesurée. L'inconvénient de la technologie PIR est qu'elle repose sur la construction de modèles prédictifs dont la qualité est variable selon les outils et les paramètres mesurés. Des pourcentages d'erreurs de quantification sont à prévoir. L'intérêt sur une vendange blanche est qu'elle permet de s'affranchir des contrôles de maturité classique.

25788_vins_blancs.indb 141 13-10-11 12:23 PM

OUTILS

Deux appareils portables ont été développés utilisant les capacités du PIR à la parcelle de vigne. Ils permettent une mesure directe de la maturité technologique des baies au vignoble en offrant à l'utilisateur des valeurs individuelles à l'échelle du grain ou moyennes à la parcelle.

Le Spectron (société Pellenc) réalise les mesures directes sur un groupe de grains en les associant à un logiciel de modélisation de la maturation grâce au développement d'algorithmes spécifiques (Geraudie *et al*, 2010). Son fonctionnement est basé sur un filtrage spectral optique sur des longueurs d'onde spécifiques. Le Luminar 5030 (distribué par la société Isitec Lab) effectue également une mesure directe sur baie en utilisant une technique originale, mais limite la mesure à une petite surface de 5 mm, nécessitant plusieurs flashs sur une même grappe pour gagner en représentativité.

Vision numérique

PRINCIPE

La technique repose sur l'acquisition d'images couleurs standards dans le domaine du visible ou du proche infrarouge utilisant un ou plusieurs appareils photographiques ou caméras numériques. Il s'agit d'une technique simple et peu coûteuse mais qui nécessite un traitement de l'image en différé. Celui-ci est réalisé sur ordinateur après transfert des acquisitions. La difficulté majeure de la technologie est la variabilité des conditions d'éclairage en extérieur. Les outils pour être répétables et précis à la parcelle ou en poste fixe devront utiliser des flashs puissants ou assurer une prise d'image à l'ombre. Cette contrainte ne s'applique pas en laboratoire.

OUTILS

La société Sodimel a développé deux outils destinés au secteur viticole, les Qualiris® Réception et Grappe. Le Dyostem® de la société Vivelys utilise également la technologie en appui à une approche plus globale de la maturité.

Capteurs à poste fixe

Basés au laboratoire ou au quai de réception, ces capteurs optiques permettent l'obtention d'une série d'informations diverses qui vont caractériser et orienter la vendange. Elles portent sur la maturité des raisins, leur état sanitaire, leur potentiel aromatique. L'utilisation de capteurs nécessite pour la plupart un échantillonnage à la parcelle. Ces innovations peuvent faire appel à plusieurs technologies mises en ligne et demandent une expertise technique pour interpréter la donnée acquise.

Maturité physiologique et aromatique

MESURE AUTOMATISÉE DE LA CHARGE EN SUCRES

L'intérêt de la mesure de la charge en sucres a été démontré par différents auteurs (Deloire, 2007). Elle permet notamment d'identifier la phase de maturation (accumulation des sucres dans la baie), de la phase de concentration (phénomène de perte en eau). Cet indice est obtenu par la mesure du volume des baies associée à celle de la concentration en sucres.

25788_vins_blancs.indb 142 13-10-11 12:23 PM

Par un suivi régulier au cours de la maturation (une à deux analyses par semaine), l'utilisateur obtient une information sur la vitesse de chargement en sucres de la baie, celle-ci pouvant être reliée à la maturité aromatique. Lors d'une maturation normale, après une accumulation continue des sucres, une phase de plateau s'amorce correspondant à l'arrêt avant la phase de déshydratation. Le début ou la fin de ce plateau peuvent alors correspondre à des maturités aromatiques différentes. Si le chargement est lent, on parle de blocage de maturité. À l'opposé, s'il est rapide et sans amorce de phase de plateau, on estime que la maturité aromatique sera difficilement atteinte.

POTENTIEL AROMATIQUE DES BAIES

La couleur est un marqueur intéressant pour caractériser l'évolution de la maturité d'une baie. De la véraison à la surmaturité l'œil humain détecte des modifications qui vont du vert au jaune clair puis jaune brunit ou même rosé. Les outils utilisant la technologie de la vision détectent ce type d'évolution. Basés sur la mesure de l'angle de teinte, c'est-à-dire la teinte (spectre de couleur du rouge au violet avec le jaune-vert au centre), sa luminance et sa saturation, une relation peut être établie avec le potentiel aromatique des raisins blancs sur les gammes pyrazique, thiol et terpénique.

L'outil Dyostem® automatise en laboratoire les deux mesures sur la base de contrôle de maturités classiques en réalisant une analyse baie par baie du volume et de la teinte. L'utilisateur ne dispose pas des données finales directement. Ces mesures nécessitent une expertise qui définit le potentiel des baies et approche une date de récolte optimale en fonction de l'objectif aromatique. Cette expertise est réalisée *via* Intranet.

Il est bien évident que si ces systèmes permettent dans certains cas d'estimer de manière indirecte le potentiel aromatique de la vendange, ils sont surtout des outils de segmentation des apports qui donnent à l'œnologue des clés supplémentaires pour raisonner les itinéraires techniques de vinification les plus adaptés au type de produit qu'il souhaite obtenir.

Qualité sanitaire et homogénéité de la couleur

Qualiris Réception® est un outil d'estimation de la qualité de la récolte au quai de réception ou en poste avancé. Deux caméras photographient le dessus des bennes de vendanges et sont reliées à un PC équipé d'un logiciel, qui communique instantanément à l'utilisateur la proportion de corps étrangers (rafles, feuilles…), le pourcentage de baies noires, roses, vertes, et altérées. L'innovation permet de remplacer les notations visuelles souvent subjectives et de réaliser des sélections. Sur vendange blanche, l'outil identifie notamment les baies ou grappes botrytisées et indique un indice de teinte entre le vert et le jaune, sans pour autant pour le moment les relier à un potentiel aromatique. L'utilisateur doit en faire sa propre expertise et définir sa propre grille de qualité.

Capteurs piétons

Les capteurs piétons sont des outils dits de proxi-détection. Les technologies utilisées par les industriels permettent d'accéder aux données liées à la maturité du raisin *via* des outils portables. Les éléments de mesure peuvent être liés à la maturité technologique, à la maturité polyphénolique et/ou à des niveaux d'azote assimilable du raisin. La force de ces outils piétons réside dans le fait qu'ils offrent à l'utilisateur une mesure non destructive par mesure directe au contact du raisin et permettent l'acquisition d'une série de données importantes à la parcelle dans des temps courts, optimisant ainsi l'échantillonnage et la représentativité de la parcelle.

25788_vins_blancs.indb 143 13-10-11 12:23 PM

Ces capteurs sont utilisables au champ mais également au laboratoire. Pour des raisons d'environnement mieux maîtrisé (lumière, humidité...), la qualité du signal émis par les appareils est généralement meilleure en milieu fermé.

Potentiel en azote assimilable des raisins

La connaissance de la teneur en azote des moûts est un élément déterminant à l'appréciation de la qualité d'un raisin dans la production de vins blancs. Le potentiel azoté d'une parcelle est un facteur clé dans les critères de qualification du raisin. Anticiper ou connaître ce potentiel est un enjeu majeur, à la fois pour faciliter les orientations en cave et pour optimiser une correction éventuelle au vignoble dans le cadre d'une pulvérisation foliaire. Il n'existe pas à ce jour d'outils permettant une mesure directe sur grappe de l'azote ammoniacal et/ou alpha-aminé.

Plusieurs voies empiriques ou analytiques ont été explorées pour tenter d'anticiper les niveaux d'azote dans les moûts à la vendange mais sans résultats flagrants. Comme pour les autres critères liés à la maturité du raisin, des outils ont été mis en place pour tenter d'anticiper ou de mesurer les niveaux d'azote dans les raisins sans devoir passer par l'analyse chimique. Le N-tester permet par mesure optique de déterminer l'indice chlorophyllien de la plante. L'outil portable, simple d'utilisation, ne traduit cependant que très imparfaitement les différences observées avec la teneur en azote dans les feuilles et dans les moûts. Le même constat est établi avec l'indice de végétation, NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) basé sur le principe de réflectance du végétal dans l'infrarouge (Debuisson *et al.*, 2009).

Plusieurs auteurs ont montré en revanche que les différents indices issus de la fluorimétrie pouvaient être intéressants pour identifier des variations entre deux parcelles et en particulier

Tableau 4.4 : Synthèse des capteurs et de leur potentiel

Société	Produit	Technologie	Sucres	Acidité totale	pH
Force-A	Dualex	Fluorimétrie			
Force-A	Multiplex	Fluorimétrie			
Pellenc	Spectron	PIR			
Isitec Lab	Luminar 5030	PIR			
Sodimel	Qualiris Grappe	Vision numérique			
Sodimel	Qualiris réception	Vision numérique			
Vivelys	Dyostem	Vision numérique et PIR			

25788_vins_blancs.indb 144 13-10-11 12:23 PM

des variations de teneurs en azote total du moût. En utilisant les capacités de la pince Dualex®, les indices issus de la fluorescence permettent par des mesures sur feuilles à la fermeture de la grappe d'anticiper les niveaux d'azote des moûts à la vendange avec des erreurs moyennes de 20 mg/L (Serrano *et al.*, 2010)

Maturités technologiques et potentiels polyphénoliques

Les outils utilisant le proche infrarouge sont les seuls capteurs piétons à pouvoir fournir une information quantifiable reliée à des mesures de laboratoire portant sur la maturité technologique. Parallèlement, la mesure des polyphénols sur raisins blancs prend une importance particulière lorsqu'il s'agit de traiter une matière première dont le potentiel en thiols est important. Pour cette raison, les informations portant sur les teneurs en polyphénols ou s'en approchant, issues des capteurs portables, sont aussi intéressantes dans le cadre d'une production de vins blancs que de celle de vins rouges.

Grâce à des spectromètres autonomes et portables utilisant le PIR (Spectron® et Luminar®), l'utilisateur peut obtenir en temps réel à la parcelle par une ou plusieurs mesures sur grappes une quantification des éléments suivants : sucres, acidité totale, pH, anthocyanes et teneur en eau.

L'opérateur peut ainsi réaliser un grand nombre de mesures à la parcelle. L'avantage est un gain en représentativité par rapport au contrôle de maturité classique de 200 baies. L'inconvénient demeure la robustesse des valeurs obtenues, celles-ci étant basées sur un algorithme traitant les données issues de spectres.

Antho-cyanes	Eau	Azote	Couleur	Potentiel aromatique	Volume de la baie ou grappe

25788_vins_blancs.indb 145 13-10-16 2:42 PM

12 Opérations préfermentaires

La vinification en blanc a ceci de particulier que les mécanismes d'extraction et d'élaboration des jus sont totalement dissociés des étapes de fermentation. Ils ont donc lieu en phase aqueuse, et sont généralement rapides (de l'ordre de quelques jours au maximum).

Cette rapidité n'exclut pas cependant certaines technologies pour orienter les profils des futurs vins en favorisant l'extraction de composés d'intérêt comme les précurseurs d'arômes tout en limitant les réactions enzymatiques qui ont lieu, et sont souvent défavorables.

Ainsi, les opérations préfermentaires revêtent-elles une importance spécifique pour piloter le profil des vins.

Dans la partie qui suit, elles seront détaillées en mettant l'accent sur les objectifs technologiques de chacune d'entre elles, leurs mises en œuvre, et les effets sur la qualité des moûts et des vins, afin de faire ressortir les possibilités de pilotage qui réside dans leur maîtrise.

Macération pelliculaire

Cette opération unitaire s'intègre entre la récolte et le pressurage, et est destinée à favoriser l'extraction des constituants d'intérêt contenu dans la pellicule des raisins. Elle est donc particulièrement indiquée, en vinification, quand l'œnologue veut amplifier l'aspect variétal de l'arôme, mais est réservé aux raisins blancs au vu de la diffusion rapide des anthocyanes des pellicules des raisins noirs.

La macération pelliculaire repose sur un temps de contact entre le moût et les pellicules, pour favoriser les phénomènes de diffusion, essentiellement des composés d'arômes libres ou sous formes de précurseurs. Toutefois, ces phénomènes de diffusion ne sont pas sélectifs et concernent en outre les composés phénoliques des pellicules, qui peuvent avoir, nous l'avons vu, un impact négatif en amplifiant les phénomènes d'oxydation ultérieurs, au moment du pressurage, mais aussi après la mise en bouteille. La diffusion ayant lieu en phase aqueuse, les composés phénoliques peu solubles diffusent peu, mais on peut avoir en revanche un enrichissement en acides hydroxycinnamiques.

Dans la pratique, cette technique s'applique à une vendange éraflée, légèrement foulée, pour permettre la présence d'une quantité suffisante de jus. Elle doit également être faite avec un léger sulfitage, voire une protection par gaz inerte et à température modérée pour éviter tout départ en fermentation. Le couple durée-température doit être adapté au niveau d'extraction désiré, tenant compte de l'extraction de composés non désirés. Des durées de 4 à 24 heures et des températures entre 4 °C et 18 °C sont habituellement utilisées. Elle est réalisée dans le pressoir si celui-ci a une cage fermée, ou bien dans des cuves séparées, ce qui nécessite cependant plus de manipulation de vendange. L'enzymage avec des enzymes pectolytiques peut être réalisé à ce moment-là ; en revanche, celui avec des préparations d'enzymes libératrices d'arômes

25788_vins_blancs.indb 146 13-10-16 2:42 PM

est peu intéressant, leur action étant inhibée par le sucre. La macération pelliculaire est aussi réservée à des vendanges parfaitement saines, au risque sinon d'entraîner une extraction importante de la laccase, des mauvais goûts associés aux altérations fongiques (goûts moisis, terreux, de champignon frais, goût phénolés, *cf.* p. 45), mais également une extraction plus forte de mycotoxines comme l'ochratoxine A lorsque la vendange a été infectée par *Aspergillus carbonarius*.

En termes de composition, la macération pelliculaire s'accompagne d'une diminution de l'acidité, due à l'extraction de potassium. Elle est variable mais reste faible en général, de l'ordre de 0,5 g H_2SO_4/L, mais peut atteindre des valeurs plus problématiques. On assiste de plus à un léger enrichissement en azote assimilable des moûts, ainsi que des polyosides neutres souvent associés à l'augmentation du volume en bouche et du gras des vins.

En termes aromatiques, outre les variétés muscatées, pour lesquelles la macération pelliculaire est particulièrement indiquée au regard des proportions significatives de terpénols contenues dans les pellicules, elle peut concerner aussi des variétés neutres dans lesquelles les précurseurs d'arômes sont intéressants à valoriser. De manière générale, les précurseurs d'arôme que l'on peut considérer comme intéressants pour l'arôme des futurs vins (terpénols et norisoprénoïdes glycosylés, précurseurs de thiols, précurseurs du diméthylsulfure) sont majoritairement présents dans la pellicule (*cf.* p. 26). L'application de la macération pelliculaire permet d'augmenter le potentiel aromatique des moûts, mais l'augmentation est variable d'un cépage à l'autre et pour un même cépage, selon le lot de vendange, sans qu'il ait pu pour le moment être relié à des caractéristiques physiques des baies de raisins.

Il faut par ailleurs rester vigilant car cette extraction supplémentaire et les moyens ultérieurs utilisés pour révéler le potentiel aromatique peuvent entraîner une modification importante des profils des vins, avec parfois une certaine lourdeur de l'arôme au final.

La possibilité de réaliser une variante de la macération pelliculaire existe d'autre part, non pas en amont du pressurage, mais en aval. Il s'agit de la stabulation sur bourbes. Cette opération connaît un engouement certain tant il est constaté une forte augmentation des teneurs en thiols variétaux des vins. Sa mise en œuvre nécessite un premier débourbage grossier, puis un stockage des moûts sur bourbes fines pendant cinq à quinze jours, à froid (+ 4 °C), avec remise en suspension des bourbes une fois par jour. Le sulfitage doit être suffisant pour éviter tout départ en fermentation. Comme déjà mentionné, cette pratique augmente fortement les teneurs en thiols des vins (Roland *et al.*, 2010), sans que pour autant les mécanismes sous-jacents aient pour le moment été identifiés de manière formelle.

Pressurage

Objectif technologique

Dans l'itinéraire d'élaboration des vins blancs, le pressurage est la dernière étape technologique de traitement de la vendange, celle qui permet l'obtention du moût pour une vinification en phase liquide. Il vise à libérer les jus de la baie de raisin, en essayant d'entraîner le maximum de composés d'intérêt et de limiter ceux néfastes à l'élaboration du produit.

Du fait de l'hétérogénéité de la baie de raisin et de la résistance des cellules à l'éclatement, la composition des jus évolue au cours du pressurage des cépages blancs. L'acidité des jus diminue au fur et à mesure de l'avancée du pressurage, au contraire des teneurs en sels minéraux, et en particulier en potassium, qui augmentent. Il en résulte une élévation du pH au

25788_vins_blancs.indb 147 13-10-11 12:23 PM

cours du temps. Les quantités de polyphénols, substrats d'oxydation, augmentent également au cours du pressurage.

La quantité de bourbes libérée est un marqueur de la qualité de l'extraction des jus. Limiter la trituration, et donc les actions mécaniques, contribue à limiter la formation de bourbes et de composés conférant aux vins des saveurs herbacées.

Mise en œuvre pratique

L'opération de remplissage du pressoir, dans un souci d'optimisation des équipements, est dans certains cas précédée par une phase préliminaire d'égouttage plus ou moins dynamique à l'aide de matériels spécifiquement dédiés, telles les cuves d'égouttage. Par ailleurs, le mode de traitement de la vendange en aval du pressoir, et notamment son mode de chargement, n'est pas sans conséquence sur l'extraction et la qualité des jus. Des actions mécaniques aussi peu traumatisantes que possible sont à ce titre recherchées de manière à faciliter ensuite l'opération de pressurage.

Les pressoirs utilisés sont désormais en très grande majorité de type pneumatique à cage le plus souvent fermée : l'extraction des jus est obtenue par le gonflement à l'air d'une membrane interne à la cuve de pressurage, laquelle impose une pression radiale à la vendange. Les jus migrent à travers le marc et sont orientés vers une maie par des drains ou collecteurs. Les configurations divergent selon les constructeurs.

Schématiquement, après remplissage, un pressurage comprend : une phase d'égouttage (laquelle peut être concomitante au remplissage) sans ou à très faible pression ; une phase de pressurage proprement dite. Celle-ci s'opère avec une succession de montées en pression permettant la libération et la filtration des jus à travers la masse de vendange. Lorsque ceci devient inopérant du fait du colmatage du marc, un remaniement du marc par décompression de la membrane et rotation de la cuve est opéré. La succession de ces différentes phases (pression, durée, émiettage) constitue un cycle de pressurage. Le niveau d'assèchement final de la vendange, mais aussi la qualité des jus extraits, en dépendent. Se distinguent les programmations dites automatiques, qui intègrent un remaniement entre chaque palier de pression, de celles dites séquentielles au cours desquelles plusieurs montées en pression s'effectuent avant un émiettage. La pression d'air derrière la membrane est la base de cette programmation. L'automatisation de plus en plus avancée des machines permet de moduler la programmation du cycle de pressurage. Celle-ci est ainsi adaptée en fonction des caractéristiques de la vendange (manuelle ou mécanique, type de cépage, millésime…).

Dans le souci d'adapter la programmation en temps réel et à la spécificité de chaque lot de vendange, des outils plus fins de pilotage se développent : asservissement des montées en pression au débit d'écoulement des jus (et donc à l'aptitude à libérer les jus), sélection des jus en fonction de la conductivité…

Plus récemment, des équipements complémentaires visant à protéger les jus de l'oxydation durant le pressurage ont été mis au point. Certains visent à opérer sous atmosphère inerte (azote), d'autres permettent l'apport d'antioxydants au plus près de la libération des jus, directement dans la cage du pressoir.

La sélection et séparation des différentes fractions de jus (égouttage, pressée, fin de presse…) se généralise. Celle-ci vise à valoriser au mieux chacune de ces fractions, en particulier en adaptant ensuite l'itinéraire technologique. Le traitement par collage des presses riches en polyphénols (Moine *et al.*, 2011) est en pratique recommandé dans le cas des variétés produisant des vins riches en thiols variétaux.

25788_vins_blancs.indb 148 13-10-11 12:23 PM

Enzymage

L'apport d'enzymes pectolytiques à la vendange au moment du pressurage, ou mieux encore durant la phase de macération entre la récolte et le pressurage, est désormais une pratique usuelle. Par une action des pectinases sur les polysaccharides des parois des cellules, il vise à faciliter la libération du jus et des précurseurs aromatiques.

Sur le plan technologique, l'expérience démontre que ceci se traduit par la libération d'une plus grande quantité de jus (augmentation du taux d'extraction de quelques %), mais aussi d'une plus grande proportion de jus « qualitatif », de goutte ou collecté à base pression. L'effet varie selon les cépages, niveau de maturité, temps d'action de l'enzyme (Guérin *et al.*, 2012).

Par ailleurs, cette action enzymatique, en fragilisant la paroi des cellules, est également conseillée pour faciliter l'extraction des précurseurs aromatiques de la pellicule dans le jus (Geffroy *et al.*, 2010).

Sur le plan pratique, un tel enzymage précoce contribue à raccourcir les étapes préfermentaires (Canal-Llaubères *et al.*, 2010), et permet de fait d'optimiser les équipements affectés à cette tâche.

Cet apport précoce d'enzyme est ensuite habituellement suffisant pour assurer la clarification des jus en vue de leur débourbage.

Mécanismes d'oxydation

Dès la libération du jus et sa mise en contact avec l'oxygène (engagée depuis la récolte dans le cas d'une vendange mécanique), l'oxydation enzymatique du moût s'opère. Celle-ci se matérialise visuellement par un brunissement plus ou moins intense du moût (Cheynier *et al.*, 1989). Les mécanismes sont complexes et mettent en jeu différentes espèces chimiques, les acides hydroxycinnamiques et le glutathion qui est au cœur de ces réactions. La sensibilité à l'oxydation varie selon les cépages, et en particulier le rapport entre leur concentration en acides hydroxycinnamiques et glutathion.

Pour limiter ces phénomènes, l'ajout d'antioxydant, traditionnellement des sulfites, est généralement pratiqué. Celui-ci est d'autant plus efficace qu'il est fractionné et apporté au plus près de la libération des jus.

Impact sur la qualité aromatique des vins : cas des thiols variétaux

Les thiols variétaux, essentiellement le 3-mercaptohexan-1-ol (3MH) et son acétate (3MHA), résultent tous deux en partie de composés S-conjugués à la cystéine et au glutathion, de composés en C6 de type hexenal. Pour les précurseurs de type cystéinylé (Cys3MH) ou glutathionylé (G3MH), leur localisation dans la baie ainsi que la structure chimique sont deux paramètres clés qui conditionnent, d'une part, leur extraction au cours du pressurage et, d'autre part, leur stabilité au cours des opérations préfermentaires. En ce qui concerne les précurseurs de type composés en C6, les mécanismes mis en jeu ne sont pas encore clairement élucidés (Schneider *et al.*, 2006).

La localisation des précurseurs de thiols dans la baie de raisin est hétérogène entre pellicule et pulpe. Les précurseurs sont préférentiellement localisés dans la pellicule pour divers cépages tels que le Merlot, le Cabernet Sauvignon, le Sauvignon blanc et le Melon B (*tableau 4.5*).

25788_vins_blancs.indb 149 13-10-11 12:23 PM

Tableau 4.5 : Répartition des précurseurs de thiols du 3MH dans la baie de raisin

	Cys3MH		G3MH	
Cépages	**% pellicule**	**% pulpe**	**% pellicule**	**% pulpe**
Merlot et Cabernet Sauvignon (Murat *et al.*, 2001)	60	40	ND*	ND
Sauvignon Blanc (Roland *et al.*, 2010)	78	22	57	43
Melon B. (Roland *et al.*, 2010)	100	0	29	71

*: ND : non détecté

En conséquence, cette localisation préférentielle des précurseurs dans la pellicule souligne l'importance de l'étape de pressurage. L'extraction de ces composés est exacerbée en fin de cycle de pressurage. Ainsi, les teneurs en Cys3MH peuvent être doublées dans les jus de fin de presse dans le cas du Sauvignon blanc et du Melon B (Roland *et al.*, 2010). Pour autant, il est difficile de prédire la tenue aromatique des vins résultants car les mécanismes mis en jeu sont complexes. Certaines études montrent que les vins issus de fins de presses sont moins riches en thiols variétaux et ce jusqu'à des pertes de 50 % (Patel *et al.*, 2010) alors que d'autres résultats présentent des gains de l'ordre de 15 % (Roland *et al.*, 2011).

Le Cys3MH et le G3MH sont caractérisés par une liaison chimique très stable dans les conditions du moût entre la partie acide aminé ou peptide et la partie « arôme », laquelle correspond au thiol après clivage par la levure lors de la fermentation alcoolique. Les conditions oxydantes rencontrées lors de l'extraction d'un moût blanc, mêmes poussées, n'impliquent pas de dégradation de ces composés. Une étude menée à l'échelle laboratoire (Roland *et al.*, 2010) montre que les teneurs en Cys3MH dans un moût progressivement oxydé par addition d'oxygène n'évoluent pas tandis que celles du G3MH augmentent significativement et de façon concomitante avec le pic de *Grape Reaction Product* (GRP) (*figure 4.5*).

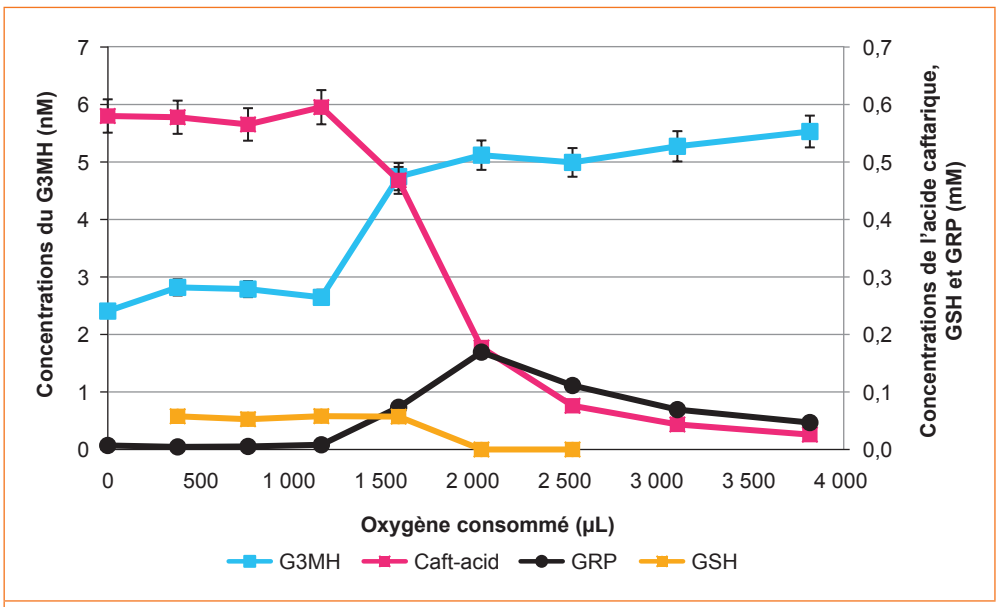


Figure 4.5 : Formation de G3MH lors de l'oxydation d'un moût de Melon B

25788_vins_blancs.indb 150 13-10-11 12:23 PM

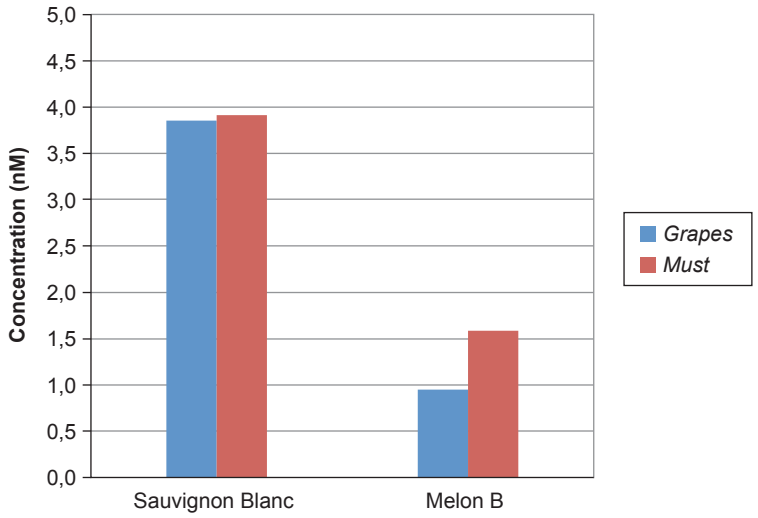


Figure 4.6 : Concentration de G3MH issu de raisins ou de moûts de Sauvignon blanc et de Melon B

Le G3MH possède donc deux origines distinctes : l'une biogénétique, l'autre que nous qualifierons de préfermentaire. Pour le Melon B, qui est cépage neutre par rapport au Sauvignon blanc, la proportion de G3MH préfermentaire peut correspondre à un gain de 40 % en concentration alors qu'elle apparaît comme non significative pour le Sauvignon blanc (*figure 4.6*).

Ces observations ont été confortées à l'échelle industrielle pour des raisins de Melon B ayant subi deux itinéraires de pressurage différents : un pressurage classique et un pressurage sous gaz inerte (*figure 4.7*). Les différents moûts obtenus, correspondant à des jus de cuvée (égouttage et première presse), montrent systématiquement une plus forte teneur en G3MH dans les modalités classiques que dans les modalités obtenues sous gaz inerte. En revanche, les teneurs en Cys3MH restent inchangées quels que soient les itinéraires techniques suivis. Les vins issus de ces expérimentations présentent des teneurs en 3MH et 3MHA plus importantes dans les modalités conduites sous pressurage classique, suggérant ainsi un impact positif de l'oxydation ménagée des moûts de Melon B sur la qualité aromatique de ces mêmes vins.

Des travaux similaires sur Sauvignon débouchent sur des résultats sensiblement différents (Nikolantonaki, 2010). Dans ce cas, la protection poussée contre l'oxygène lors du pressurage conduit au final à des vins plus riches en 3MH.

Bien que ces données soient d'apparence contradictoire, il ne faut perdre de vue que l'étape de pressurage n'est qu'une partie de l'itinéraire technique, et que la vinification ainsi que la nature même du moût affectent grandement la formation des thiols.

Si l'observation pratique de terrain montre que la protection contre l'oxydation des variétés produisant des vins riches en thiols variétaux (Sauvignon, Colombard…) est bénéfique, l'état des connaissances actuelles ne permet pas d'expliciter clairement ce constat ; en tout état de cause, les variations de comportement selon les cépages ne permettent pas d'apporter de réponse universelle.

25788_vins_blancs.indb 151 13-10-11 12:23 PM

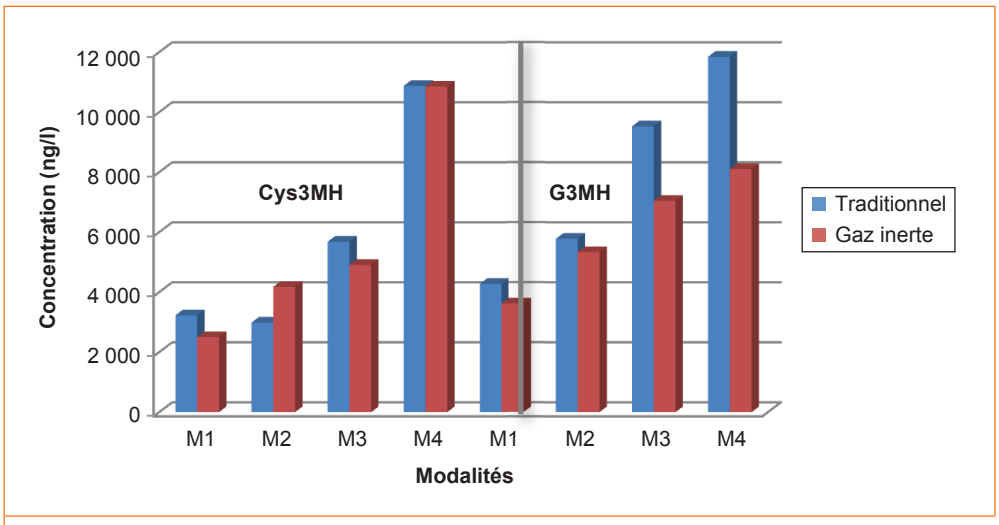


Figure 4.7 : Influence du type de pressurage sur les teneurs en précurseurs de thiols (cas du Melon B)

Débourbage

Le débourbage consiste en la clarification du moût par élimination plus ou moins importante des matières solides, les bourbes, qui s'y trouvent en suspension. Les bourbes constituent 10 à 30 % de la matière solide en suspension dans les jus. Ces bourbes sont essentiellement des débris solides de pulpe, de rafles, de pépins, et de particules terreuses mais aussi de levures, bactéries, et colloïdes plus ou moins floculés.

L'intensité du débourbage peut s'apprécier par la mesure de la turbidité, qui s'exprime en unité de néphélométrie ou NTU (*Nephelemotric Turbidity Unit*), et se mesurer à l'aide d'un turbidimètre (parfois appelé néphélomètre). Cette mesure évalue la diffusion d'un faisceau lumineux au travers d'un liquide : la diffusion augmente avec le taux de particules en suspension. Un vin blanc en bouteille fait environ 1,1 NTU.

Objectifs technologiques

Par le débourbage, on recherche à (Boulton *et al.*, 1996) :

- éliminer du moût, les particules terreuses, les débris de feuilles et les pépins ;
- diminuer les concentrations en métaux et résidus phytosanitaires ;
- affiner l'expression aromatique des vins (ôter les odeurs indésirables) ;
- modifier le profil fermentaire (les fermentations sont moins actives car une partie des levures et bactéries est éliminée) ;
- modifier la concentration en alcools supérieurs et en esters (impact gustatif), associée à une activité estérase ;

25788_06_partie4-2.indd 152 13-10-15 9:46 AM

- rendre les moûts moins sensibles à l'oxydation (élimination des polyphénols oxydases contenue dans les pellicules, et la laccase de *Botrytis cinerea*) ;
- diminuer également les risques de goût de réduit, associés aux éléments soufrés et autres résidus du vignoble, contenus dans les pellicules et la pulpe.

Plus la turbidité est faible, plus le jus est clair. Il existe cependant un juste milieu. Ainsi une turbidité trop faible entraîne des problèmes de fermentation (Ribéreau-Gayon, 1985 ; Houtman et Duplessis, 1986 ; Feuillat *et al.*, 1989). À l'opposé, une turbidité trop forte apporte des mauvais goûts (réduction, verdeur, herbacé).

Mécanisme associé au débourbage

Les particules les plus lourdes descendent les premières et le dépôt va se former en strates successives. Aux termes du processus, trois phases distinctes sont observables : les jus clairs, les bourbes fines ou bourbes blanches, et les bourbes à proprement parler, ou bourbes vertes (*photo 4.1*).

Un soutirage par le haut à l'aide d'un mireur permet la séparation des jus. Les jus clairs et une partie variable des bourbes fines sont mis à fermenter. Ces dernières sont riches en éléments nutritifs pour les levures et en précurseurs d'arômes. La destination des bourbes restantes a beaucoup évolué ces quinze dernières années. Avant, elles étaient considérées comme un sous-produit de la vinification. Puis sont arrivés les filtres rotatifs sous vide et l'usage du filtre-presse a été redécouvert. Les filtrats de bourbes, généralement de turbidité assez basse, vinifiés séparément donnent des vins moins acides et avec une intensité aromatique élevée et un peu lourde. La réincorporation du filtrat avec les jus clairs améliore toujours l'ensemble.

En fonction des millésimes, les jus clairs représentent 75 % de l'ensemble, et les bourbes fines, 5 %, et 20 % pour les bourbes. Ces bourbes sont composées en moyenne de 76 % (p/p) de polysaccharides, 8 % de lipides, et environ de 3 % d'azote (Alexandre *et al.*, 1994).

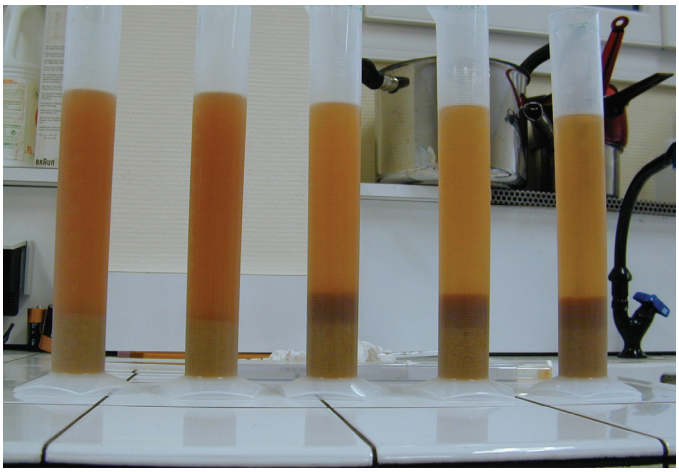


Photo 4.1 : Observation des différentes bourbes

25788_vins_blancs.indb 153 13-10-11 12:23 PM

Impact du débourbage sur la qualité des vins finis

Le niveau de débourbage recherché se situe entre 50 et 200 NTU, valeurs à moduler en fonction de la richesse du moût en nutriments solubles pour les levures, de la température de fermentation, et bien sûr du style de vins à élaborer ; en dessous, les risques de fermentation alcoolique difficile augmentent, au-dessus la clarification est insuffisante pour atteindre les objectifs de finesse aromatique du vin souhaité. Un moût trop clair, trop « débourbé », ne comporte pas assez de nutriments et de support pour une bonne viabilité des levures (Ribéreau-Gayon *et al.*, 1975).

La présence des bourbes durant la fermentation alcoolique exerce un rôle majeur sur la composition lipidique des levures (Valero *et al.*, 1998 ; Cabanis et Flanzy, 1998 ; Larue *et al.*, 1985 ; Lonvaud-Funel, 1988), en leur donnant la possibilité de métaboliser les phytostérols des raisins, non solubles et adsorbés sur les particules solides (Luparia *et al.*, 2004), permettant ainsi, de compenser les déficits en oxygène (Andreasen et Steir, 1953) et en longues chaînes d'acides gras, augmentant la viabilité des cellules en fin de la fermentation alcoolique. En parallèle de cet effet de nutrition des levures, les bourbes, peuvent exercer un effet physique sur la fermentation alcoolique en favorisant la nucléation du CO_2 (Groat et Ough, 1978 ; Axcell *et al.*, 1988). Par ce mécanisme, le niveau de CO_2 est plus bas dans la phase liquide, et est donc moins toxique pour les levures (Jones et Greenfield, 1982).

Des travaux récents (Casalta *et al.*, 2009) confirment ce double impact des bourbes, et mettent en évidence également, l'importance des dynamiques, à la fois dans la localisation (sédimentation et dispersion dans le milieu) et dans la taille des particules (agrégation et dispersion) durant la fermentation alcoolique.

Ces impacts sur la cinétique fermentaire induisent des variations de production des composés aromatiques, et donc des profils sensoriels des vins résultants. Ainsi, des travaux récents (Casalta *et al.*, 2010 ; Guérin *et al.*, 2012) ont montré les variations de production des composés volatils, mais également des thiols en fonction des turbidités (sans particules, 100 et 200 NTU) ; en outre, les variations observées en analyses sensorielles des vins résultants sont supérieures, mais résultent de mécanisme plus complexe impliquant une gamme de molécules plus étendue que celles dosées à ce jour.

Ces effets du débourbage sur la fermentation alcoolique et donc sur la qualité des vins finis avaient déjà été démontrés (Bertrand, 1981 ; Bertrand *et al.*, 1987, Olivier *et al.*, 1987).

Le débourbage, et notamment les turbidités avoisinant les 50 NTU, exerce aussi une influence sur la fermentation malolactique dont le déclenchement est plus précoce et la durée plus courte, avec une population bactérienne plus importante. De même, ces niveaux de turbidité favorisent la libération de colloïdes levuriens, et en particulier des mannoprotéines, qui ont une incidence favorable sur la croissance des bactéries lactiques (Llaubères *et al.*, 1987 ; Feuillat, 1995 ; Guilloux-Benatier *et al.*, 1993, 1995).

Techniques de débourbage

Plusieurs techniques de débourbage sont couramment utilisées (Gaillard *et al.*, 1989). On différencie généralement les techniques de débourbage « statiques » telles que la décantation (*figure 4.8*) et les techniques de débourbage « dynamiques » ou « mécaniques ».

L'ensemble des techniques est résumé dans le *tableau 4.6*.

25788_vins_blancs.indb 154 13-10-11 12:23 PM

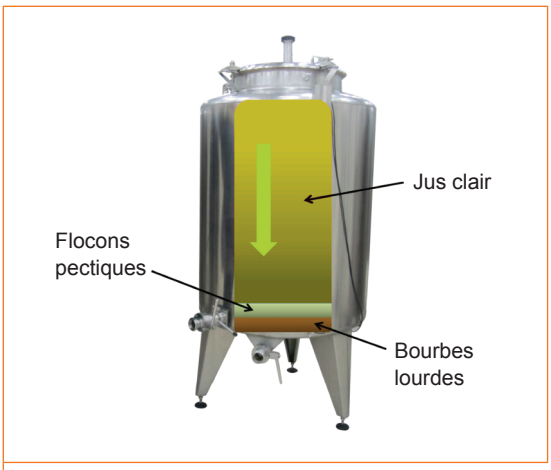


Figure 4.8 : Cuve de débourbage
Source : Wikipédia

Tableau 4.6 : Comparaison des différentes méthodes de débourbage (J. Blouin et E. Peynaud, 2001)

		Avantages	Inconvénients
Statique	Naturel	Classique, peu de matériel	Lent, discontinu
	Avec enzymage	Rapide, intense, bourbes compactes	Parfois trop intense
	Avec collage	Clarification plus complète, bourbes assez compactes	Lent, discontinu, choix de colle délicat, dépouillement parfois excessif
Dynamique	Centrifugation	Continu, automatique, haut débit possible, utilisable sur vins, bonne efficacité	Investissement lourd, fonctionnement coûteux, efficacité parfois insuffisante sur vendanges altérées
	Centripétation	Continu, doux, investissement limité	À réserver au moût peu bourbeux
	Flottation	Continu, rapide, doux	Efficacité parfois insuffisante
	Tamisage	Rapide, simple	Limité aux grosses particules
	Filtre à alluvionage	Polyvalence, classique, limpidité réglable	Mise en œuvre délicate, colmatage rapide
	Filtre rotatif	Utilisable sur moûts très chargés et bourbes, très efficace, débits possibles élevés, polyvalence	Investissement élevé, surveillance précise nécessaire, consommation de terre élevée, clarification toujours très poussée
	Filtre-presse	Utilisable sur moûts très chargés et bourbes, très efficace, peu de surveillance, adaptable aux vins	Débits limités, clarification toujours très poussée
	Filtre tangentiel	Utilisable sur moûts très chargés et bourbes, très efficace, utilisable sur vins	Clarification toujours très poussée, investissement élevé

25788_vins_blancs.indb 155 13-10-16 2:42 PM

Débourbage statique

UTILISATION DU FROID

C'est une décantation et/ou sédimentation naturelle dont la durée varie de 12 à 36 heures. Il est capital de différer le départ en fermentation alcoolique, à cause du dégagement de gaz carbonique (CO_2) remettant le trouble en suspension. L'ajout de SO_2 permet de retarder les départs en fermentation alcoolique, de même que les basses températures. Les moûts sont amenés à des températures comprises entre 5 °C et 10 °C.

La vitesse de décantation est variable en fonction des paramètres suivants :

- le cépage ;
- la maturité ;
- le millésime, influençant la maturité et l'état sanitaire.

En fait, il s'agit de paramètres liés à la matière première, et plus particulièrement des teneurs en pectines (polysaccharides neutres et acides) des moûts, qui conditionnent la réussite de la clarification. Certains cépages sont plus riches en pectines (Cinsault, Muscat…). La concentration en pectine augmente avec la maturité. Mais en fonction des conditions climatiques, la présence de *Botrytis cinerea*, et notamment sa production de glucanes (β-1,3, β-1,6), peut perturber la sédimentation dite « naturelle ».

UTILISATION D'ENZYMES

Afin de pallier les paramètres pouvant influencer la vitesse de sédimentation (essentiellement cépages et millésimes), le vinificateur dispose d'outils biotechnologiques efficaces, tels que les enzymes.

Les « pectinases » ou « enzymes pectolytiques » constituent le groupe le plus important utilisé en vinification et sont représentées par les activités : pectine méthyl-estérase (PME), polygalacturonase (PG) et pectine lyase (PL) ; ces dernières ont la capacité de dégrader les substances pectiques des baies de raisins (Fernandez *et al.*, 2005). Cependant, les mélanges ou formulations d'enzymes contenant, par exemple, des pectinases, cellulases, hémicellulases et glycosidases semblent plus attractifs, car ces produits auraient plus d'une fonction ou d'une application.

L'application de ces enzymes reste optimale et efficace sur des raisins sains, car en présence de glucanes produits par *Botrytis cinerea*, la sédimentation est très ralentie.

À l'aide de l'utilisation d'enzymes, la cinétique de clarification est nettement améliorée et l'utilisation est même nécessaire pour certains cépages, quel que soit le millésime (Cayla *et al.*, 2009 ; Guérin *et al.*, 2010). Toutefois, le contrôle de la turbidité à atteindre est essentiel, afin de ne pas arriver à des niveaux pouvant entraîner des problèmes fermentaires, et donc de niveau qualitatif sur les vins finis.

UTILISATION DES COLLES : BENTONITE, GÉLATINE, GEL DE SILICE

Ces différentes colles sont utilisées seules ou en associations :

- la bentonite, dans ce cas de figure, est employée comme lest afin d'accélérer la sédimentation ;
- la gélatine flocule avec les tanins extraits par le pressoir, indésirables en phase liquide, car générateurs d'amertume, d'astringence et d'instabilité de la couleur. Les flocons formés sédimentent d'autant plus vite qu'ils sont gros, entraînant sur leur passage des particules plus légères ;

25788_06_partie4-2.indd 156 13-10-16 3:39 PM

- le gel de silice a un rôle de lest et possède une bonne synergie en association avec la gélatine.

Conjointement à la décantation, la bentonite, la gélatine et la PVPP (polyvinylpolypyrrolidone) permettent au vinificateur d'éliminer les polyphénols et de prévenir ainsi les futurs brunissements dus à l'évolution de ces molécules par voies oxydatives.

Cependant, au regard de doses élevées utilisées de ces produits, des travaux ont montré leur incidence négative sur la composante variétale des vins (Bayonove *et al.*, 1995).

Débourbage dynamique

CENTRIFUGATION

Le taux de matière en suspension est trop important pour cette technologie, à moins de dégrossir le travail préalablement avec des hydrocyclones ou des préfiltres. L'investissement en matériel est très élevé. Le coût de fonctionnement l'est beaucoup moins : ces machines travaillent en mode auto, avec une régulation de la turbidité, sans aucun consommable, et sans intervention humaine.

FLOTTATION

La flottation est une technique issue du traitement des eaux. Elle consiste en la séparation d'une phase solide et d'une phase liquide en faisant remonter les particules en suspension à l'aide de gaz (Trousseau et Chapron, 1991 ; Ferrarini *et al.*, 1992 ; David et Sahraoui, 1993).

Le moût est pressurisé, par injection de gaz, le plus souvent de l'azote, dans un caisson de pressurisation en amont du flottateur à une pression comprise entre 5 et 7 bars. Sous l'effet de la dépression, des microbulles se forment et se fixent sur les particules en suspension, modifiant ainsi leurs densités. Si cette densité est inférieure au liquide, la particule flotte. La couche de bourbes formées en surface est éliminée en continu par des racleurs ou aspirées. Le moût clair est évacué en continu par une trappe siphoïde (*figure 4.9*).

Ces matériels sont pour l'instant peu répandus et réservés à des installations traitant de gros volumes.

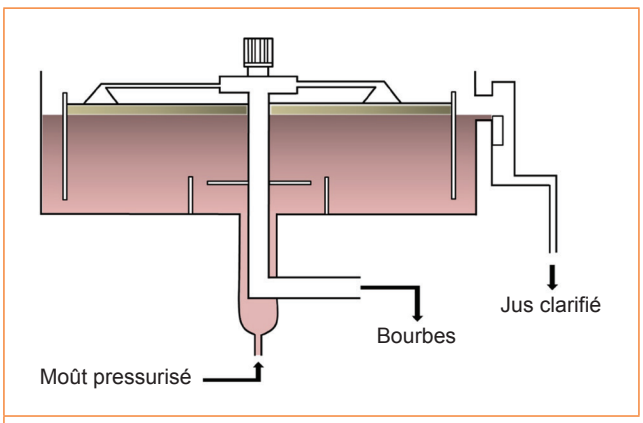


Figure 4.9 : Système de flottation
Source : IFV

25788_vins_blancs.indb 157 13-10-11 12:23 PM

Filtration : filtre à tambour rotatif sous vide, filtre-presse

C'est un choix technologique qui présente des avantages et des inconvénients.

AVANTAGES

- Dans certains processus, le débourbage statique n'est pas réalisable : la thermovinification par exemple.
- Le résultat est satisfaisant quelle que soit la matière première.
- La plupart des opérations sont automatisées.
- La filtration s'effectue en flux tendu derrière les pressoirs ; plus besoin de différer la fermentation alcoolique par des températures basses.
- Elle permet d'assurer un « bon » profil organoleptique sur des jus provenant de vendanges altérées.

INCONVÉNIENTS

- Il est impossible de maîtriser le niveau de filtration d'un filtre à tambour rotatif sous vide. Les moûts filtrés ont le plus souvent une turbidité très basse. Ils sont donc très appauvris en levures indigènes, en éléments nutritifs et en précurseurs d'arômes. Pour être mis en fermentation alcoolique, l'emploi de levures sélectionnées et d'un complément nutritif est indispensable.
- Ces filtres utilisent des médias filtrants, perlites ou diatomées, qui génèrent des rejets remis en cause par la législation.
- Ces matériels sont coûteux, même si les prix ont cependant beaucoup baissé. Sans oublier le prix des consommables.

Conclusions

Le débourbage des moûts est une étape clé pour la définition de la qualité des vins finis. Il se traduit en effet par l'amélioration de la qualité organoleptique au travers d'une modification de l'arôme fermentaire. Les vins des moûts débourbés ont un arôme secondaire plus fin, de meilleure qualité que ceux issus de moûts non débourbés. Néanmoins, il existe différentes technologies pour arriver à réduire la turbidité, et ce choix est déterminant pour le bon déroulement des phases fermentaires. Ainsi, ce dernier devra tenir compte des caractéristiques du cépage, des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de la matière première liée aux conditions climatiques du millésime, et bien sûr des matériaux et matériels à disposition.

Nouvelles techniques d'extraction des moûts : exemple du décanteur centrifuge

Depuis quelques années des équipementiers de la filière proposent aux caves des décanteurs centrifuges pour l'extraction des moûts et la clarification des bourbes ou des lies (*figure 4.10*). Ces outils horizontaux de séparation des solides en suspension liquide se distinguent des autres séparateurs par leurs vitesses de rotation moins élevées (environ 4 500 tours/min). Ils sont présents dans de très nombreuses industries : déshydratation des boues pour l'épuration de l'eau,

25788_vins_blancs.indb 158 13-10-11 12:23 PM

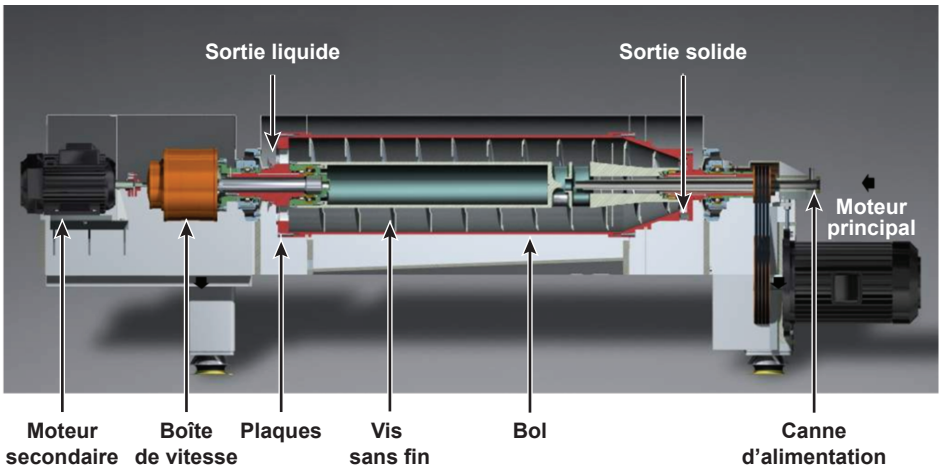


Figure 4.10 : Coupe transversale d'un décanteur centrifuge
Source : Groupe Alfa Laval

séparation des résidus et huiles minérales dans l'industrie pétrolière, et séparation de solides et de liquides de densité différente dans l'industrie agroalimentaire, pour ne citer que les domaines d'applications les plus fréquents. C'est le principe de la force centrifuge qui permet une séparation des solides ou des liquides par différence de densité. Cette technologie avait déjà tenté une percée en œnologie dans les années 1980 sans rencontrer de succès. Des améliorations technologiques réalisées ces dernières années, notamment sur la géométrie des cônes, et un abaissement des coûts de revient sont à l'origine du regain d'intérêt qu'ils suscitent aujourd'hui dans le secteur vinicole industriel ou de grosses structures. La suite de l'exposé va détailler le positionnement de cet outil en lieu et place du pressoir dans la filière vitivinicole.

Les premiers travaux et applications ont concerné tout d'abord l'extraction et la préclarification des moûts de thermovinification. Cette première approche s'explique par la facilité d'intégration d'un décanteur dans un processus continu et industriel de traitement de la vendange. Le débit pouvant aller jusqu'à 40 t/h, pour les unités de plus grande taille, est conforme à une intégration en ligne lors du prétraitement thermique de la vendange rencontré dans les caves de taille industrielle. Quelques installations sont déjà fonctionnelles dans les principaux vignobles mondiaux. Les niveaux de turbidité alors atteints peuvent permettre, pour certains types de vins, de s'affranchir de l'étape de clarification préfermentaire. La chaîne de traitement s'en trouve ainsi raccourcie, ce qui représente des gains de rentabilité temporelle et économique indéniables.

L'intégration de la technologie des décanteurs centrifuges dans la vinification en blanc peut sembler incongrue au regard des pratiques habituelles qui prônent un traitement doux du pressurage et une surveillance attentive envers l'oxydation des moûts. Ces considérations sont à l'origine du développement des pressoirs pneumatiques, et plus récemment des dernières évolutions sur ces mêmes pressoirs pneumatiques permettant l'inertage ou l'injection de sulfites pendant l'opération de pressurage. Face à ce défi, les décanteurs centrifuges présentent certains avantages indéniables. En effet, ils offrent une rapidité d'extraction des moûts en continu, de l'ordre de la minute de temps de séjour de la vendange dans le bol. Cette valeur est à comparer au temps nécessaire du fonctionnement complet des cycles discontinus

25788_vins_blancs.indb 159 13-10-11 12:23 PM

de pressurage pneumatique (de l'ordre de quelques heures). D'autre part, l'étanchéité du bol facilite l'extraction en conditions de protection vis-à-vis de l'oxydation.

Les premières expérimentations en vinification en blanc, menées en 2011 à l'Unité expérimentale INRA de Pech Rouge, fournissent un argumentaire pour l'utilisation des décanteurs en vinification en blanc.

Rendement d'extraction

Dans l'étape du pressurage, un des premiers questionnements reste le rendement d'extraction. Pour le pressoir pneumatique, cela dépendra du programme adopté avec comme variables d'ajustement : le temps de montée et de descente de la pression à chaque cycle, le nombre de cycle et la valeur des pressions adoptées lors chaque cycle, ainsi que le nombre de rebêchages. Pour le décanteur, les paramètres de réglage influençant le rendement d'extraction sont : le débit d'alimentation et la vitesse différentielle entre le bol et la vis de sortie des parties solides. L'homogénéité du mélange solide/liquide qui va entrer dans le décanteur est, comme pour tous les procédés en continu, un critère essentiel de stabilité de fonctionnement dans le temps de la machine et de la régularité des caractéristiques du moût et des parties solides en sortie. La température de la vendange et un éventuel traitement enzymatique seront également des facteurs qui auront une incidence sur le rendement d'extraction du moût pour les deux outils.

Ces considérations étant posées, les rendements d'extraction des moûts ont été mesurés par l'analyse des taux d'humidité des marcs à l'aide d'une thermobalance, par souci de robustesse des résultats. En effet, l'impression que l'on a en pressant le marc entre ses mains pour visualiser le jus qui s'en écoule est trompeuse. Pour le pressoir pneumatique, on ne constate pas un tel écoulement. Les baies sont aplaties, mais une partie du jus reste emprisonnée entre les faces internes des deux épaisseurs de la pellicule et ne peut donc pas être extraite avec la force des mains. Pour le décanteur centrifuge lorsque l'on presse entre ses mains une poignée de marc, on constate un écoulement significatif de jus. Le principe de fonctionnement du décanteur conduit à un éclatement des baies sur les parois du bol avec une libération de la totalité du jus à l'extérieur de la baie.

Le *tableau 4.7* montre que la différence du taux d'humidité des marcs entre les deux outils d'extraction reste faible. Les rendements d'extraction sont alors tout à fait comparables.

Tableau 4.7 : Mesure comparative du taux d'humidité du marc sur deux lots de vendange homogènes de Sauvignon (2011)

	Décanteur centrifuge	Pressoir pneumatique
Taux d'humidité du marc	63,6 %	64,4 %

Caractéristiques des moûts

Le critère le plus reconnu par la profession pour caractériser les moûts avant leur fermentation est la turbidité. Le taux de matières en suspension humide (TMSH), obtenu en mesurant le culot de centrifugation après une centrifugation de 10 minutes à 12 800 xg, permet de compléter cette caractérisation.

Le *tableau 4.8* montre que le décanteur centrifuge produit des moûts moins turbides. C'est le principe même du décanteur qui permet une séparation par la densité qui conduit à cette différence. Les quatre orifices de sortie du jus (anneaux liquides) sont disposés à proximité de l'axe

25788_vins_blancs.indb 160 13-10-16 2:42 PM

Tableau 4.8 : Caractérisation des moûts en sortie des outils d'extraction sur deux lots de vendange homogènes de Sauvignon (2011)

	Décanteur centrifuge	Pressoir pneumatique
Turbidité (NTU)	374	590
TMSH (en g/100 g)	1,6	2,0

central du bol (*cf. figure 4.10*). Ils permettent une évacuation de la partie la plus clarifiée de la veine de liquide à l'intérieur du bol, les parties les plus denses étant entraînées sur la périphérie. L'épaisseur de débordement de ces anneaux liquide peut être modifiée, elle constitue un autre paramétrage du décanteur. Il est à noter que durant toute la durée de fonctionnement, la turbidité du moût est constante tant qu'il n'y a pas de modification du paramétrage de l'outil. Concernant le pressoir pneumatique, globalement la turbidité du moût est plus élevée qu'avec le décanteur. En outre, il existe une différence entre le début du pressurage où les moûts sont constitués pour une majorité de jus d'égouttage avec une turbidité plus élevée et la fin où les jus bénéficient d'une clarification plus élevée lors du drainage du moût au travers de la masse de vendange.

Tableau 4.9 : Caractérisation des moûts après débourbage sur deux lots de vendange homogènes de Sauvignon (2011)

	Décanteur centrifuge	Pressoir pneumatique
Turbidité (NTU)	91	29
Taux de matières humides en suspension (TMSH)	1,12	0,86

Contrairement aux moûts de thermotraitement où le niveau de turbidité obtenu avec le décanteur peut être suffisant pour passer directement à l'étape de fermentation, une étape de débourbage supplémentaire avant la fermentation est quasiment incontournable en vinification en blanc. La taille des particules, plus fines pour les moûts issus du décanteur, pourrait être un frein au bon déroulement du débourbage. Lors des expérimentations mises en œuvre à l'INRA, le niveau de la clarification mesuré, après un débourbage statique de 12 heures à basse température (environ 15 °C) et avec addition d'enzymes pectolytiques, se traduit par une turbidité et un TMSH supérieurs pour le décanteur centrifuge (*tableau 4.9*). Cette différence s'explique par la taille plus petite des particules en suspension qui ont plus de mal à sédimenter. Le niveau de clarification est toutefois acceptable pour une mise en fermentation du moût. La mesure comparative de la vitesse de débourbage entre les deux technologies n'a, en revanche, pas été évaluée. Elle devrait être plus rapide pour les moûts de pressoir pneumatique compte tenu de la densité plus élevée des particules.

Le potassium ou la mesure indirecte de la conductivité est une autre caractéristique pour qualifier les moûts en sortie de pressoir. C'est notamment le cas en Champagne pour séparer les moûts des différentes pressées (tailles). Cette mesure traduit la trituration ou le contact prolongé des pellicules dans la phase liquide avec une migration corrélée du potassium vers la phase liquide. Le *tableau 4.10* montre une teneur un peu plus forte en potassium dans le moût issu du décanteur par rapport à celui issu du pressoir pneumatique. Cet écart est néanmoins à relativiser car la cuve d'homogénéisation utilisée avant le décanteur, pour cette expérimentation, est peut-être responsable d'une trituration de la vendange accrue et donc d'une augmentation de la concentration en potassium.

25788_vins_blancs.indb 161 13-10-16 2:42 PM

Tableau 4.10 : Caractérisation des moûts après extraction par la mesure du potassium sur deux lots de vendange homogènes de Sauvignon (2011)

	Décanteur centrifuge	Pressoir pneumatique
Conductivité (mS/cm)	2,65	2,43
Potassium (mg/L)	1 930	1 463

Protection de l'oxydation des moûts

Sur cet aspect, les pressoirs pneumatiques classiques présentent l'inconvénient de développer une grande surface de contact du moût avec l'oxygène de l'air au niveau de la cage de pressurage, d'une part, et de la maie de réception du moût, d'autre part. Pour réduire cette exposition du moût à l'oxygène et éviter les phénomènes oxydatifs qui en découlent, des solutions d'inertage des pressoirs ou d'addition de sulfites « à cœur » ont été développées. Dans le cas du décanteur, la mise en contact du moût avec l'oxygène commence à l'intérieur du bol et se poursuit à la sortie au niveau des anneaux liquides de débordement. Cependant, à l'intérieur du bol, l'oxydation reste faible, celui-ci étant complètement rempli. En revanche, à la sortie, du fait de la vitesse de rotation du bol, le moût est beaucoup plus exposé. On constate souvent en sortie la formation de mousse, signe de brassage à l'air. Cette mousse est étroitement liée au cépage, notamment à sa concentration en protéines, à la température et à la configuration de la sortie du jus du décanteur. Outre l'oxydation qui peut en découler, ce phénomène pose un problème de pompage et d'encombrement des cuves lorsque la mousse ne se résorbe pas rapidement.

Pour comparer l'oxydation des moûts entre ces deux procédés, une mesure de la concentration en acide caftarique du moût a été réalisée. Cet acide phénol est le substrat préférentiel des activités polyphénols oxydases (PPO) du raisin. Plus sa teneur reste importante dans le moût, moins l'activité PPO a pu s'exercer sur celui-ci, révélant un degré d'oxydation moindre du moût. Les expérimentations menées à l'INRA ont permis de comparer les deux procédés, d'une part, avec une utilisation classique sans stratégie particulière de protection contre l'oxydation et, d'autre part, en mettant en œuvre des moyens pour diminuer l'activité-PPO du raisin. Pour le pressoir pneumatique, ne disposant pas de l'option d'inertage, l'option choisie a été de refroidir le raisin à une température de 4 °C, de la récolte jusqu'à la fin de l'extraction, par une addition régulière de pellets de CO_2. Pour le décanteur, l'option choisie a été d'ajouter du SO_2 et de l'acide ascorbique avec une pompe doseuse dans la canalisation à l'entrée du raisin dans le décanteur. Cette option n'est réalisable que sur le décanteur, du fait de l'extraction en continue. C'est un des atouts de cette technologie.

Le *tableau 4.11* indique qu'en conditions normales, le moût issu du pressoir pneumatique (163 µm d'acide caftarique) a subi légèrement moins d'oxydation que celui issu du décanteur centrifuge (138 µm d'acide caftarique). Les stratégies de protection contre l'oxydation ont donné des résultats positifs pour le pressoir pneumatique (530 µm d'acide caftarique) et pour le décanteur (870 µm d'acide caftarique), avec un gain accru pour ce dernier. Cette valeur est même plus élevée que la valeur de référence (790 µm d'acide caftarique) obtenue en laboratoire dans des conditions d'extraction drastiques en matière de protection vis-à-vis de l'oxygène de l'air. Sur le décanteur, les conditions de protection contre l'oxydation ont donc été maximisées.

25788_vins_blancs.indb 162 13-10-11 12:23 PM

Tableau 4.11 : Caractérisation de l'oxydation des moûts obtenus dans différentes conditions d'extraction sur des lots de vendanges homogènes de Grenache blanc (2011)

	Concentration en acide caftarique (µmoles/L)
Moût de référence anoxique obtenu en laboratoire	790
Moût classique pressoir pneumatique	163
Moût avec raisins à 4 °C pressoir pneumatique	530
Moût classique décanteur centrifuge	138
Moût décanteur centrifuge avec addition de SO_2 à 50 mg/L et acide ascorbique à 550 µm/L	870

Conclusion

Il est difficile d'opposer les deux procédés d'extraction pour la vinification en blanc. En fonction du contexte ou des situations, les deux procédés d'extraction ont leur cohérence. Le décanteur est une technologie qui nécessite plus de technicité et qui reste plus coûteuse à l'achat que le pressoir pneumatique. De par sa conception et son principe, cette technique possède un bol fermé qui ne permet pas d'accéder à l'intérieur, contrairement au pressoir pneumatique. Cette caractéristique peut présenter des inconvénients pour son nettoyage lors de fonctionnements séquentiels. Elle ne devrait pas avoir de conséquence en situation industrielle, si l'option d'un nettoyage en place (NEP) intégré au décanteur et automatisé est effective. L'avantage majeur du décanteur reste qu'il s'agit d'un procédé continu facilement intégrable dans une ligne de production. Cet outil est aussi polyvalent, puisqu'il permet également le traitement de clarification des bourbes et des lies. Pour les vendeurs, son développement reste toutefois actuellement prioritairement axé sur les grosses unités de vinification avec pour justification économique : sa polyvalence, la valorisation des dernières pressées, son bon rendement d'extraction du moût, la réduction de la main-d'œuvre et la réduction des effluents. Le décanteur centrifuge est un outil d'extraction de la vendange en blanc qui permet l'obtention de moûts moins turbides que le pressoir pneumatique. Néanmoins, selon le profil de vin visé, une étape supplémentaire de clarification reste nécessaire avant une mise en fermentation. Les particules des moûts du décanteur centrifuge, plus fines, peuvent rendre plus difficile une clarification poussée. Cependant, elles modifient aussi les conditions nutritives du milieu fermentaire rendant ainsi la comparaison qualitative avec les moûts traditionnels plus difficile. Cet aspect est actuellement étudié, les premiers résultats vont dans le sens d'une réduction du temps de latence avant le départ de la fermentation. Les autres facteurs liés à cette différence sont encore à l'étude. Concernant la protection contre l'oxydation des moûts, le décanteur centrifuge offre une meilleure maîtrise de l'apport en continu des agents antioxydants. En effet, ces derniers peuvent être injectés de manière plus homogène et plus efficace au moment clé de l'ouverture des baies, à l'instant même de la mise en contact des enzymes responsables de l'oxydation et de leur substrat. Cette caractéristique est primordiale pour prévenir l'oxydation, du fait de la rapidité des réactions enzymatiques présentes.

25788_vins_blancs.indb 163 13-10-11 12:23 PM

13 Fermentation alcoolique

L'étape de fermentation alcoolique est bien évidemment l'étape clé de tout processus de vinification. Si la réaction biologique mise en œuvre est connue depuis des siècles, ce n'est qu'à partir du XIXe siècle que les progrès de la science ont permis d'en connaître les déterminants et d'acquérir les premières connaissances qui ont permis la maîtrise des processus fermentaires.

Au-delà de la description des micro-organismes utilisés, cette partie s'attachera en outre à mettre en évidence les différents facteurs qui permettent de sécuriser cette opération délicate, mais également de la piloter pour orienter le profil de produit.

Écologie microbienne

La généralisation de l'utilisation de levures sélectionnées en vinification est, pour certains, à l'origine d'une uniformisation organoleptique des vins, pour d'autres d'une déviation du caractère originel de ceux-ci. Si tel était le cas, le fait que ces préparations industrielles soient mondialement diffusées impliquerait une perte d'identité des vins et surtout de savoir faire des régions viticoles traditionnelles.

Le rôle de la levure, au sens large, apparaît donc être en œnologie un thème très largement passionné, et sans nul doute assez méconnu.

Avant même de se faire une opinion personnelle sur l'intérêt ou non d'utiliser des levures sèches actives (LSA), de mieux connaître leurs caractéristiques et les conditions optimales de leur utilisation, il convient de mieux connaître l'intimité des flores naturelles susceptibles d'avoir une incidence sur la qualité des vins.

Méthodes d'étude de la diversité levurienne

La diversité levurienne peut être appréhendée à travers l'utilisation de divers outils de microbiologie classique ou de biologie moléculaire. Le premier obstacle à l'estimation de cette diversité est la mise en évidence des populations minoritaires que les techniques classiques de culture sur milieux nutritifs rendent difficile et aléatoire (*photo 4.2*). Les rares milieux dits « sélectifs » ne l'étant que partiellement, ceux-ci ne sont d'un intérêt que très marginal. Il faut donc irrémédiablement passer soit par l'étape de l'isolement, soit par l'utilisation de techniques pointues de biologie moléculaire permettant une détection spécifique *in situ* des espèces. Quant aux techniques de dénombrement par cytométrie de flux, si elles apportent des réponses intéressantes en matière de suivi de certaines populations, elles ne sont que de peu d'intérêt en termes d'étude de la biodiversité.

Outre l'aspect morphologique des colonies, suffisant dans le cas de *Rhodotorula*, l'observation microscopique des cellules, très utile pour identifier *Hanseniaspora*, ne permet jamais de

25788_vins_blancs.indb 164 13-10-16 2:42 PM

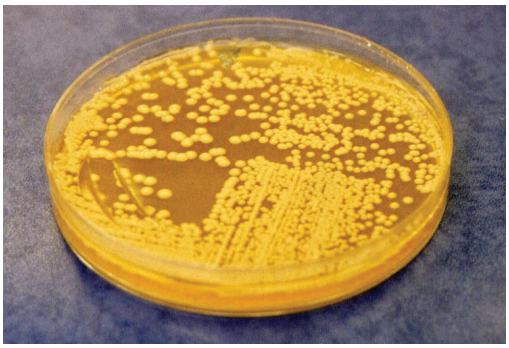


Photo 4.2 : Exemple de culture solide de levure

dépasser le stade de la détermination du genre ; le technicien dispose de certaines techniques biochimiques menant à la détermination de l'espèce. Ces méthodes restent cependant longues et peu fiables, c'est pourquoi on leur substitue depuis une vingtaine d'années les méthodes de biologie moléculaire. Plusieurs techniques sont couramment utilisées en œnologie et appréciées pour leur rapidité, leur reproductibilité et leur fiabilité.

Analyse de l'ADN mitochondrial

C'est la plus ancienne des techniques d'identification génétique appliquées à l'œnologie. Elle consiste à extraire, puis couper avec des enzymes de restriction, l'ADN présent dans les mitochondries des levures. Celui-ci, extrêmement stable, est caractéristique d'une souche ou de sa descendance. Longue et coûteuse, cette technique n'est employée qu'en complément des autres méthodes décrites ici.

Électrophorèse en champs pulsés (ECP)

Cette technique, autrement appelée caryotype, consiste à séparer en fonction de leur taille les chromosomes du micro-organisme en leur appliquant alternativement, dans un gel d'électrophorèse, des champs électriques de directions opposées. Les profils obtenus permettent de mettre en évidence des différences entre souches. Ce profil, stable dans le temps, est caractéristique d'un individu donné (on estime que moins de 10 % des souches réputées différentes ont un même caryotype). Cette technique, particulièrement adaptée à la caractérisation des levures appartenant aux espèces *Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora uvarum* et *Candida famata*, peut être utilisée aussi bien au cours d'études taxonomiques ou écologiques, que pour des contrôles d'implantation ou de production. Si le micro-organisme à caractériser appartient à un genre levurien possédant peu de chromosomes de taille élevée, il convient d'utiliser une méthode dérivée de la précédente, où l'on fait agir préalablement des enzymes coupant l'ADN en fragments plus facilement analysables comme pour l'espèce *Brettanomyces intermedius*.

PCR delta

Il s'agit d'une technique basée sur l'amplification par PCR (*Polymerase Chain Reaction*) des régions du génome situées entre les éléments delta, portions d'ADN dispersées en nombre

25788_vins_blancs.indb 165 13-10-11 12:23 PM

variable selon la souche de levure. Seul *Saccharomyces cerevisiae* possède ces éléments delta, aussi cette technique n'est-elle appliquée qu'à cette espèce. On estime que 20 % des souches différentes par ECP ont le même profil PCR.

PCR ITS

Cette technique permet d'amplifier une partie de l'ADN ribosomique, la région ITS (*Internal Transcribed Spacer*) des levures, moisissures ou bactéries. Cette région étant théoriquement identique pour tous les individus d'une espèce donnée, mais différente d'une espèce à l'autre, elle est la base de nombreuses études taxonomiques. Si la simple PCR ITS, suivie d'une digestion enzymatique, ne suffit pas à déterminer l'espèce, il pourra être procédé au séquençage de cette région ou de la région D1/D2 qui lui est proche pour comparaison avec les banques de données existantes.

Autres méthodes

Depuis quelques années, d'autres méthodes de caractérisation et d'identification génétique sont développées. La plupart d'entre elles visent à la détection de certaines espèces au moyen d'amorces spécifiques, éventuellement au sein d'un milieu complexe. Ces méthodes peuvent être couplées ou non à la PCR quantitative qui permet, de surcroît, de quantifier précisément les levures. C'est le cas notamment pour *Brettanomyces*. Enfin deux autres techniques cousines, la DGGE (*Denaturing Gradient Gel Electrophoresis*) et la TTGE (*Temporal Temperature Gel Electrophoresis*), sont susceptibles d'apporter des informations en ce qui concerne la diversité de populations complexes. Leur utilisation reste malgré tout marginale et difficile.

Diversité des espèces de levures présentes sur le raisin

La majorité des espèces rencontrées sur raisin sont dites « oxydatives », c'est-à-dire qu'elles ne transforment pas, ou très peu, les sucres contenus dans le raisin en alcool. Avec d'autres levures fermentaires, elles constituent le groupe des levures appelées « non-*Saccharomyces* ». Sous ce

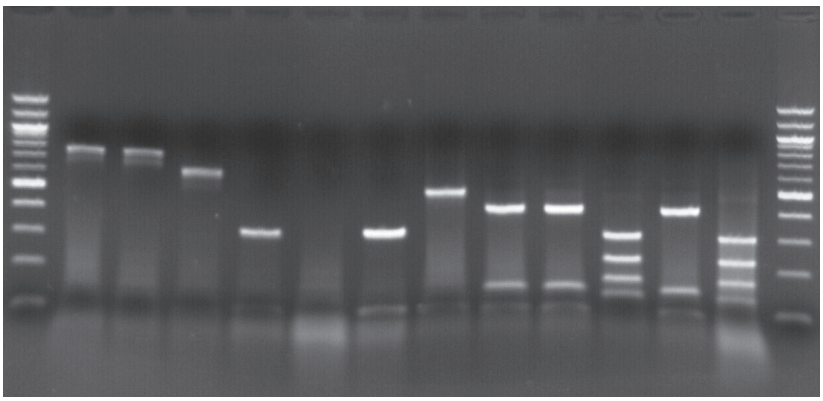


Photo 4.3 : Identification spécifique par PCR ITS

25788_vins_blancs.indb 166 13-10-11 12:23 PM

vocable, on rencontre des levures appartenant aux genres *Candida*, *Hanseniaspora*, *Pichia*, *Metschnikowia*, *Dekkera* (*Brettanomyces*), *Torulaspora*, *Rhodotorula*, *Zygosaccharomyces*… représentant plus d'une vingtaine de genres et plus du double d'espèces. Ce groupe est caractérisé par une grande diversité d'espèces aux métabolismes variés : activité βglucosidases (*Candida*, *Debaryomyces*, *Hanseniaspora*, *Metschnikowia*, *Pichia*), activité protéase (*Candida, Debaryomyces*, *Hanseniaspora*, *Metschnikowia*, *Pichia*), dégradation de l'acide malique (*Zygosaccharomyces*, *Hanseniaspora*, *Schizosaccharomyces*), production d'acidité volatile (*Candida*, *Dekkera*, *Hanseniaspora*) ou d'acétaldéhyde (*Zygosaccharomyces*, *Kluyveromyces*, *Hanseniaspora*, *Pichia*). Si l'intérêt s'est porté sur ces levures par le passé, c'est d'abord à travers le prisme des altérations comme dans le cas des phénols volatils produits par *Brettanomyces*. Ces dernières années ont vu le regard porté sur ces levures être orienté par des considérations plus en rapport avec les caractères fruités et aromatiques qu'elles pourraient apporter aux vins. À la vigne, les populations de levures sont souvent faibles (entre 102 et 105 UFC (unité formant colonie)/baie) et concurrencées par les moisissures et champignons. Le niveau de ces populations peut varier d'une année à l'autre, d'une parcelle à l'autre, d'une grappe à l'autre, en fonction des aléas climatiques (la population à la surface de la baie peut être divisée par 1 000 après une pluie avant de revenir à son niveau initial après quelques jours) et même d'un cépage à l'autre, les raisins blancs pouvant abriter une population deux fois moindre que les raisins rouges. On remarque par ailleurs que ces populations varient tant en quantité qu'en qualité en fonction de l'avancée de la maturité. Alors qu'*Aureobasidium pullulans* est classiquement majoritaire au moment de la nouaison, cette levure n'est presque plus détectable au moment de la vendange. D'autres levures, comme *Rhodotorula*, se maintiennent à des niveaux stables (entre 10 et 20 %) (*tableau 4.12*).

Au moment de la véraison, une modification d'équilibre entre oxydatives et fermentaires se produit, ces dernières voyant généralement leur proportion augmenter significativement au détriment des premières (*figure 4.11*). Ce phénomène pourrait être le reflet de la meilleure adaptation des espèces fermentaires au changement dans la composition chimique de la baie (passage d'une baie composée principalement de pectine à un organe accumulant des réserves glucidiques) par rapport au consortium d'espèces à activités pectolytique ou lypolytique (*Aureobasidium*, *Yarrowia*, *Cryptococcus*, *Debaryomyces*…) (Renouf *et al.*, 2006). Notons toutefois que parmi ces levures fermentaires présentes avant vendange sur les raisins, on ne retrouve que très rarement

Tableau 4.12 : Proportion des différentes espèces non fermentaires durant la fermentation

	Majoritaires	Autres
Raisin	*Aureobasidium pullulans*	*Kloeckera apiculata (Hanseniaspora uvarum)*
	Candida famata	*Metschnikowia pulcherrima*
	Rhodotorula	*Brettanomyces intermedius*
		Saccharomyces cerevisiae
Moût en fermentation	*Saccharomyces cerevisiae*	*Kloeckera apiculata, javanica, japonica, apis*
	Saccharomyces uvarum	*Torulaspora delbrueckii*
		Candida famata
		Schizosaccharomyces pombe
		Zygosaccharomyces rouxii
		Metschnikowia pulcherrima

25788_06_partie4-2.indd 167 13-10-16 3:42 PM

Saccharomyces cerevisiae. À ce stade, *Brettanomyces* n'est détecté qu'après enrichissement, ce qui semble indiqué qu'il serait présent à des niveaux inférieurs à ceux de *S. cerevisiae* et parfois peut-être sous forme « viable non cultivable ».

Sur baies vendangées, le nombre d'espèces différentes peut varier d'un millésime à un autre ; de même, la proportion entre levures non fermentaires et levures fermentaires peut varier d'une année à l'autre d'un rapport 80/20 à 50/50.

Diversité des espèces de levures présentes dans le moût

Les populations rencontrées sur moût sont en général bien plus importantes que sur baie. Ceci est particulièrement vrai pour les vinifications en rouge où le temps de contact entre les pellicules du raisin et les substances nutritives en atmosphère anaérobie est assez élevé. Pour les cépages blancs, en l'absence de macération préfermentaire ou de stabulation, il est logique de penser que cette différence de niveau de population sera bien moindre.

Des travaux récents ont montré que les levures œnologiques constituent un groupe spécifique plus ou moins homogène dont l'évolution a sans doute accompagné l'expansion de la vinification. C'est sans doute pourquoi, dans le moût en fermentation, on ne retrouve pas systématiquement les levures issues du raisin, tant au niveau des espèces présentes qu'à celui des souches appartenant à ces espèces. Des conditions particulières de récolte et de vinification (à basse température par exemple) peuvent sélectionner certaines populations de levures, comme ça a été montré en Alsace avec un net gradient *Saccharomyces cerevisiae*/*Saccharomyces uvarum* (Lollier *et al.*, 2003, *figure 4.12*).

Parallèlement, le chai se caractérise par une atmosphère chargée en levures tant fermentaires qu'oxydatives. Ces populations, à la structure variable en fonction du support étudié, peuvent aussi varier quantitativement dans le temps en même temps que l'accroissement de l'activité (*figure 4.13* ; Chrétien, 2001).

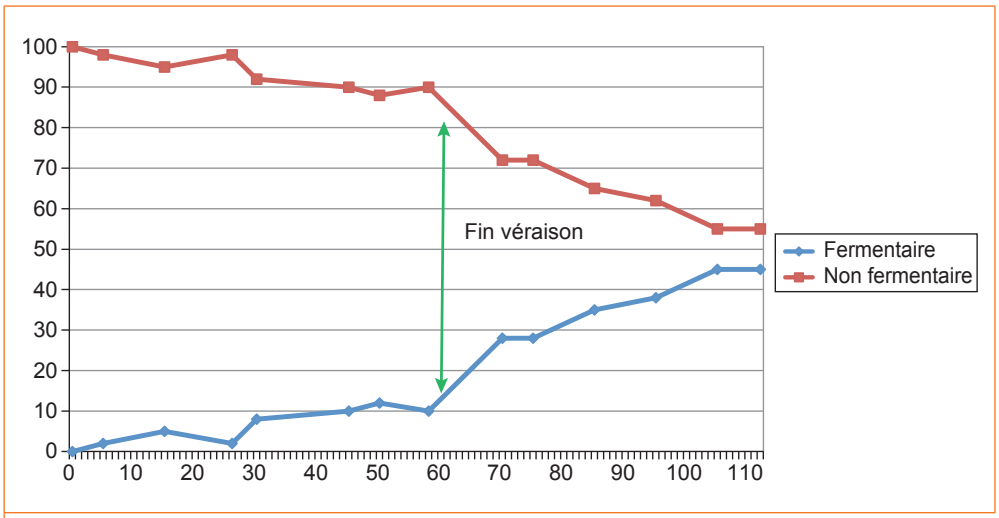


Figure 4.11 : Évolution des espèces fermentaires et non fermentaires sur baies en fonction du temps

25788_06_partie4-2.indd 168 13-10-16 3:43 PM

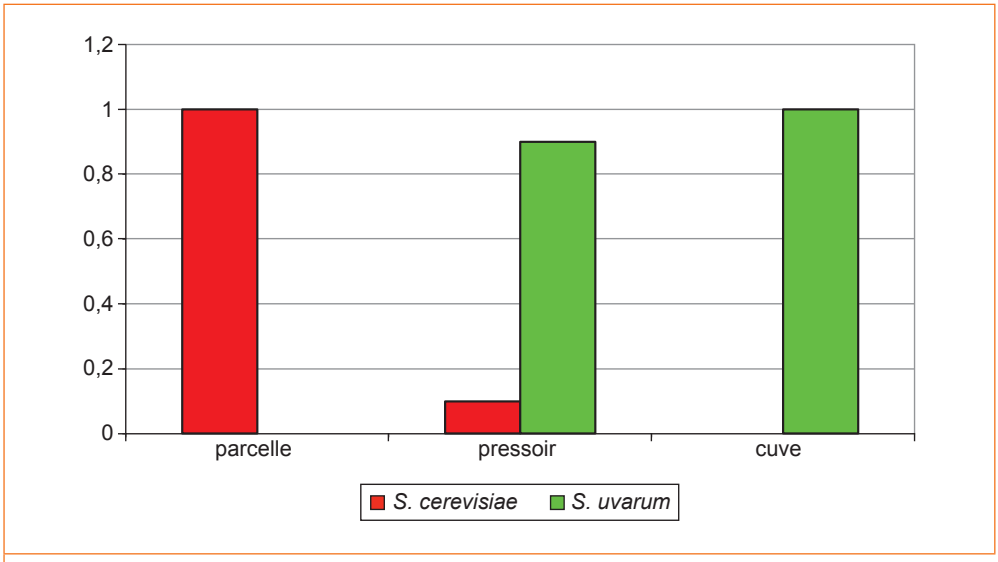


Figure 4.12 : Différence entre populations présentes à la parcelle et dans le matériel vinaire en Alsace

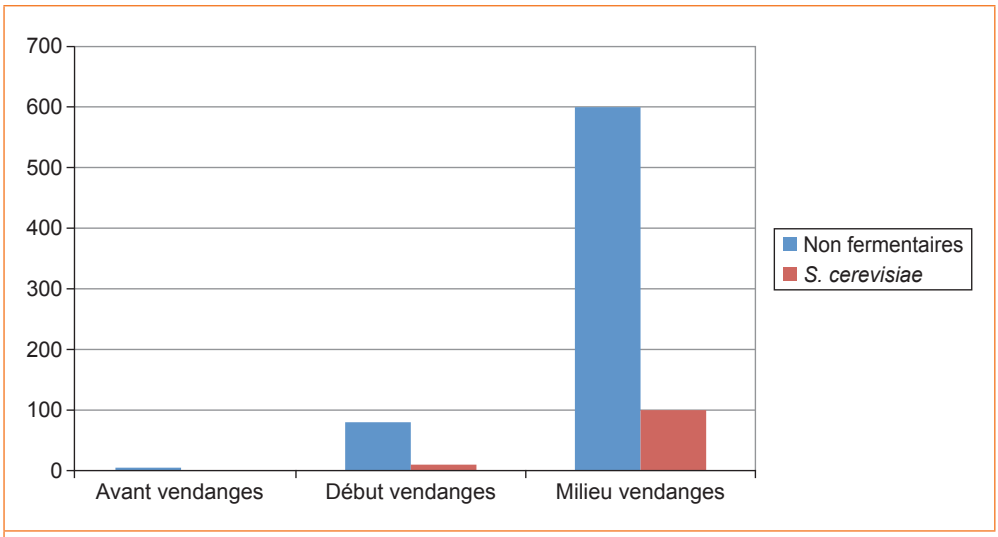


Figure 4.13 : Augmentation de la proportion de levures fermentaires dans les chais au moment de la récolte

Au chai, avant vendange, on ne trouve *S. cerevisiae* que sur le pressoir et la cuverie, alors qu'*Aureobasidium* est présent sur les éléments boisés, mais d'autres surfaces constituent un abri sûr pour les levures (Belin *et al.*, 1979, *figure 4.14*).

25788_vins_blancs.indb 169 13-10-16 2:42 PM

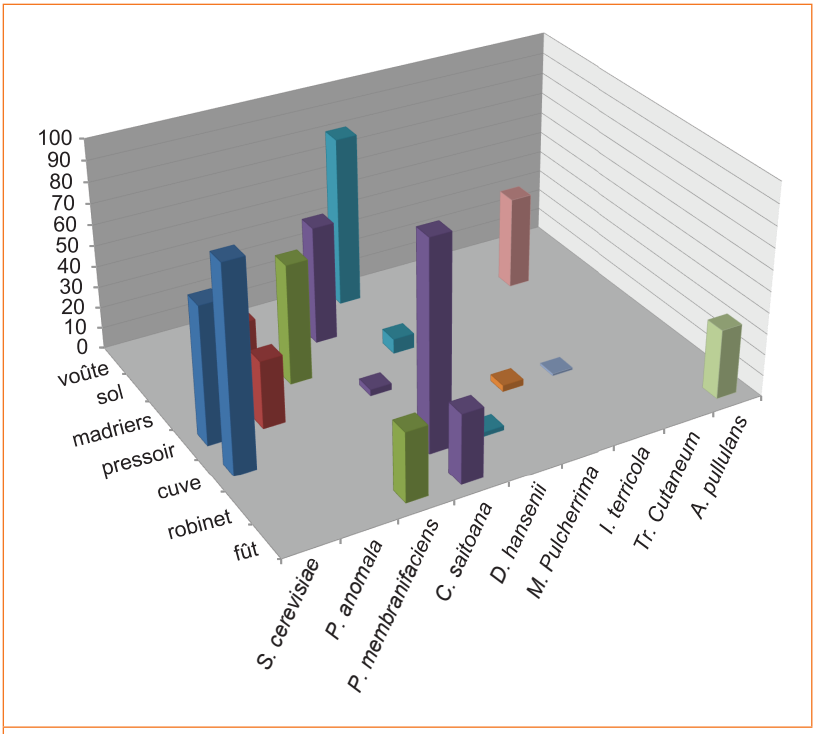


Figure 4.14 : Répartition des différentes espèces de levures en fonction du support

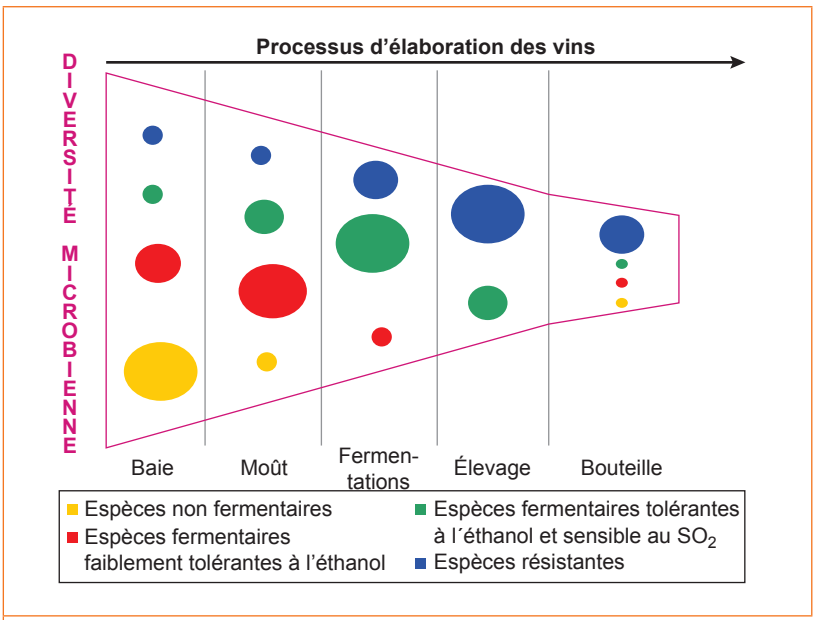


Figure 4.15 : Réduction de la diversité microbienne au cours de l'élaboration des vins

25788_vins_blancs.indb 170 13-10-11 12:23 PM

Même si dans certains cas les souches de *Brettanomyces* et *Saccharomyces* peuvent provenir du raisin, dans la majorité des cas, et plus singulièrement en ce qui concerne les vins blancs, ces levures semblent ne pas provenir directement de la parcelle mais plutôt être issues de populations spécifiques de cave.

Le processus d'élaboration du vin à partir du raisin est caractérisé par une réduction constante de la diversité microbienne aussi bien au niveau bactérien que levurien (*figure 4.15*, *tableau 4.13*). Cette réduction s'explique par l'intolérance de la plupart des levures aux conditions liées à la fermentation alcoolique : susceptibilité aux conditions anaérobies, à l'éthanol, au manque d'azote, au SO_2.

Immédiatement après débourbage, se développent différentes espèces de levures, le plus souvent apiculées et oxydatives, ne produisant que très peu d'alcool : *Hansenisapora*, *Candida*, *Metschnikowia*... (Vincent *et al.*, 2002).

Après quelques jours ces espèces sont supplantées par des levures produisant de grandes quantités d'éthanol, notamment par *Saccharomyces cerevisiae* qui assure alors la plus grande partie de la fermentation alcoolique.

En fin de fermentation, les espèces non-*Saccharomyces* résistantes à l'éthanol et à l'épuisement du milieu se maintiennent à des niveaux encore élevés (1 000 UFC/mL), c'est le cas notamment pour *Brettanomyces* (*tableau 4.14*).

Tableau 4.13 : Production d'éthanol par les différentes espèces de levures

% vol acquis (TAP 9 % vol.)	Espèces	Observation
% vol = 9	*S. cerevisiae*	
	K. lactis	
	P. jadinii (C. utilis)	
4 < % vol > 7	*C. inconspicua*	
	C. stellata	Consomme totalement le fructose mais pas le glucose
	M. pulcherrima	
	T. delbrueckii	
% vol < 4	*C. fragi*	
	C. magnoliae	
	C. parapsilosis	
	C. zylamoides	
	D. Hansenii	
	H. anomala	
	I. orientalis	
	I. terricola	
	H. uvarum	
	P. membranifaciens	
	R. mucilaginosa	

25788_vins_blancs.indb 171 13-10-16 2:42 PM

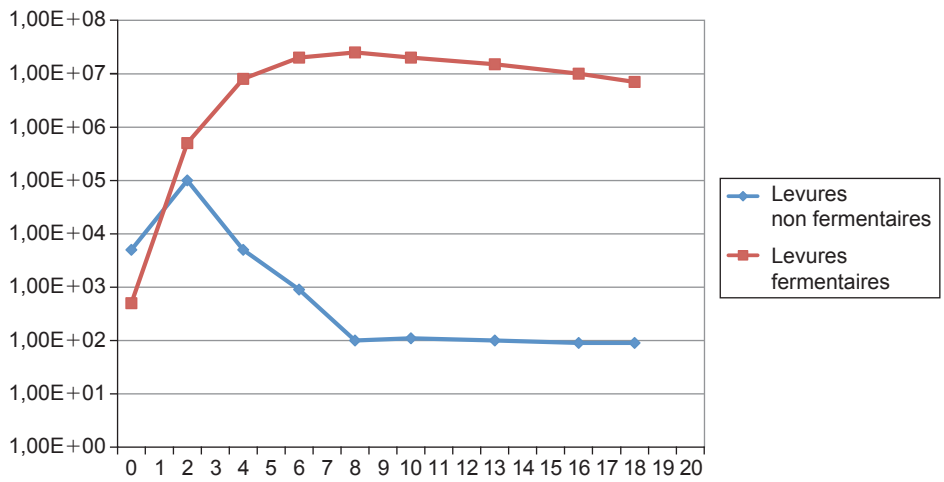


Figure 4.16 : Évolution des proportions respectives des espèces non fermentaires et fermentaires durant la fermentation

Tableau 4.14 : Évolution de la diversité levurienne au cours de la fermentation

	% début FA	% fin FA
B. intermedius	2	80
C. cantarelli	12	8
C. stellata	12	4
D. hansenii	14	
H. uvarum	22	
M. pulcherrima	12	
P. anomala	18	8
P. fermentans	8	

Les espèces oxydatives peuvent cependant réapparaître de manière sporadique à l'occasion de diverses opérations de vinification : aération, chaptalisation, bâtonnage… (Coarer *et al.*, 1999) et en fonction de leur résistance à l'éthanol et au SO_2 (Vincent *et al.*, 2002) (*figures 4.16, 4.17, 4.18*).

25788_vins_blancs.indb 172 13-10-16 2:42 PM

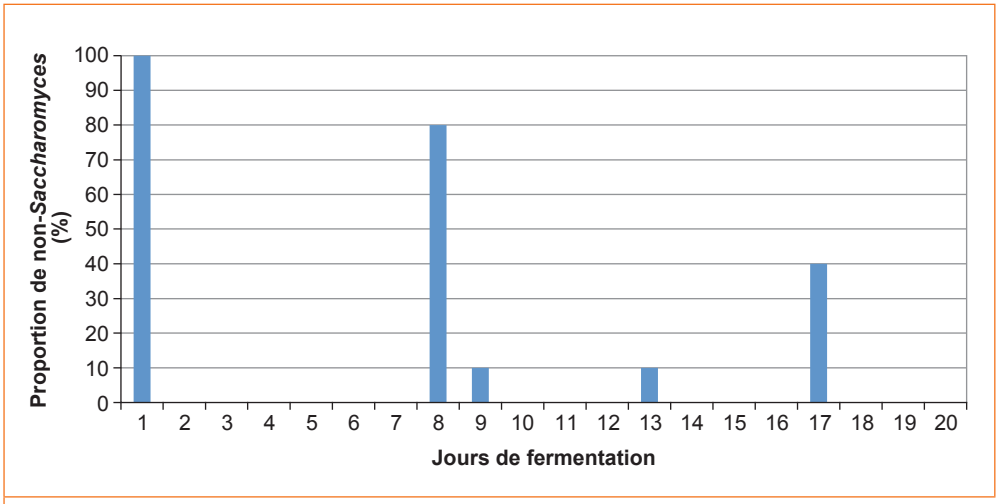


Figure 4.17 : Proportion de non-*Saccharomyces *à différents stades de la fermentation

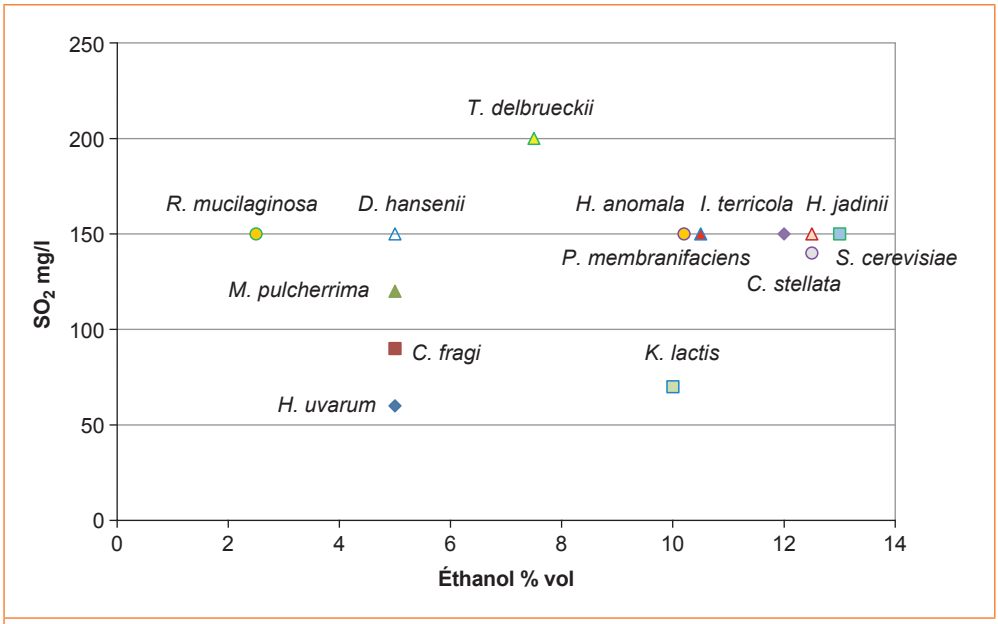


Figure 4.18 : Résistance à l'éthanol et au SO_2 de différentes espèces de levures

25788_vins_blancs.indb 173 13-10-11 12:23 PM

Diversité des souches de *Saccharomyces* présentes dans le moût

Contrairement à ce que l'on a longtemps pensé, la fermentation alcoolique n'est pas une simple « course de relais » entre espèces différentes, elle se caractérise aussi par un grand nombre d'individus au sein de chaque espèce. On observe généralement un grand nombre de souches différentes (5 à 20), qui varient au cours de la fermentation et d'une année à l'autre. Les souches minoritaires sont rarement présentes plus d'un jour ou deux et le sont toujours en faible proportion. De ce « pool » ou consortium émergent progressivement une ou deux souches dominantes (Coarer *et al.*, 1999). Ces souches dominantes peuvent parfois se maintenir plusieurs années (Vezhinet *et al.*, 1992 ; Renouf *et al.*, 2006), mais il est plus fréquent d'enregistrer un renouvellement annuel (Coarer *et al.*, 1999 ; Legras *et al.*, 2003) (*figure 4.19*).

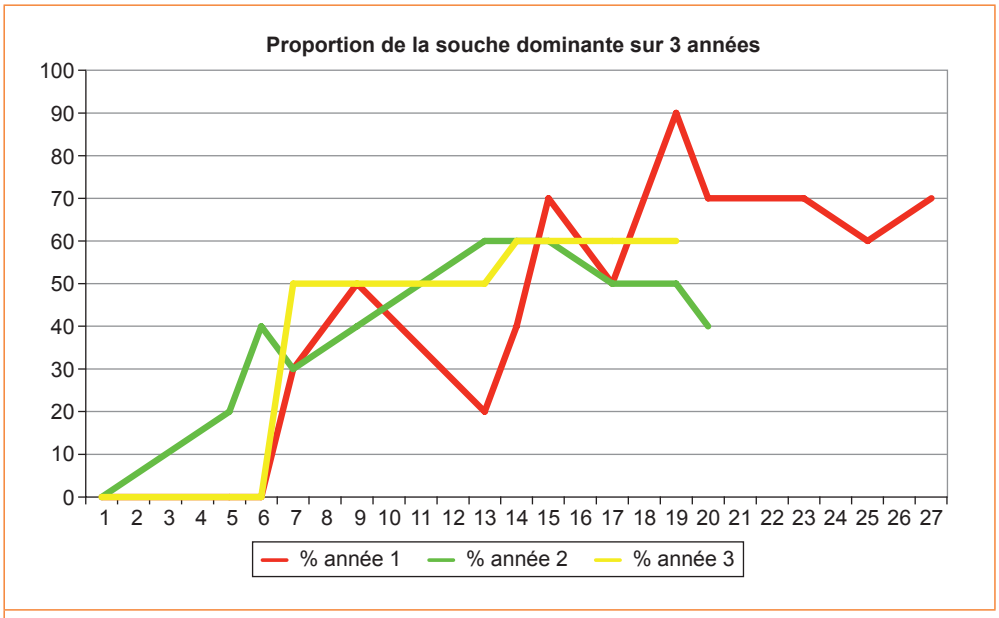


Figure 4.19 : Évolution de la proportion de la souche dominante au cours de la fermentation alcoolique

Impact de la diversité levurienne sur la qualité du vin

L'évolution des caractéristiques analytiques globales des vins obtenus par fermentations spontanées suit celle de la proportion de la souche dominante, notamment en ce qui concerne le degré alcoolique : les souches minoritaires ne sont pas présentes de manière suffisamment significative, tant en durée qu'en proportion, pour imprimer concrètement leur marque organoleptique, sauf à produire rapidement et en grande quantité des composés perceptibles à très faibles concentrations. Les travaux menés par l'IFV (Coarer *et al.*, 1999) n'ont jamais permis de relier la diversité à la complexité, ni l'apparition de telle ou telle souche à celle de tel ou tel composé. Le seul impact mesuré de l'augmentation du nombre de *Saccharomyces* différentes est l'allongement de la durée de fermentation.

Dans tous les cas, surtout en raison du développement précoce et important de *Hanseniaspora uvarum*, la fermentation spontanée s'accompagne d'une augmentation de l'acidité volatile par rapport à une fermentation induite. Généralement, cette production d'acidité volatile

25788_vins_blancs.indb 174 13-10-16 2:42 PM

Tableau 4.15 : Exemple de production d'acidité volatile par des levures fermentaires et non fermentaires

	Acidité volatile (gH_2SO_4/L)	Acétate d'éthyle (mg/mL)	Acide acétique (g/L)	TAV (% vol.)
Kloeckera apiculata	0,80	383	1,6	3,0
Saccharomyces cerevisiae	0,43	38	0,8	12,7

« primitive » disparaît en cours de fermentation, mais dans certains cas, son taux trop élevé peut nuire à la commercialisation (Vincent *et al.*, 2002) (*tableau 4.15*).

Si les fermentations spontanées peuvent souvent se dérouler sans aucun problème, dans environ 30 % des cas on assiste à des fins de fermentations difficiles et languissantes. Contrairement aux accidents de fermentations, ces situations sont difficiles à corriger et ont des conséquences aromatiques impliquant de fortes dépréciations. C'est à l'occasion de ces fins de fermentations difficiles, pendant la FML ou l'élevage, que peut sévir *Brettanomyces intermedius*. La concentration en acides phénols des vins blancs est 10 à 100 fois inférieure à celle des vins rouges, ce qui explique la faible occurrence de déviations de type « écurie » liées à *Brettanomyces* sur ce type de vins malgré sa présence avérée, tout comme celle de *Brettanomyces anomalus*. Il convient cependant de noter que dans certains cas, l'activité secondaire cinnamyl-estérase de certaines enzymes peut augmenter significativement la concentration en acides phénols. *Brettanomyces* est aussi réputé produire de l'acide isovalérique (goûts de « basse-cour », « fromage ») et des tétrahydropyridines (goût de « souris »). Les études menées en Bourgogne par l'IFV (Vincent *et al.,* 2010) ont montré que pour un même vin on pouvait avoir une dizaine de souches différentes de *Brettanomyces intermedius* avec des modifications conséquentes des souches majoritaires au cours de l'élevage (*figure 4.20*). À noter que les souches isolées étaient spécifiques d'un chai et ne se retrouvaient pas dans d'autres caves.

La fermentation spontanée n'est bien sûr pas responsable de tous les problèmes susceptibles de se présenter. Mal maîtrisée, elle laisse toutefois le champ libre à de multiples complications. La fermentation spontanée constitue donc dans tous les cas un risque qu'il convient de bien calculer et de prendre en connaissance de cause…

L'ensemencement avec des préparations commerciales a pour effet direct un non-respect de la biodiversité levurienne préalablement décrite, puisque d'une dizaine de souches ou plus de *Saccharomyces cerevisiae*, avec une ou deux majoritaires, on passe à une structure de population caractérisée par une seule majoritaire (la souche ensemencée) avec, éventuellement et de manière extrêmement sporadique, la présence d'une ou deux souches minoritaires. Notons que l'ensemencement avec des LSA empêche tout développement d'*Hanseniaspora uvarum* ou d'autres levures oxydatives en début de fermentation. De même, cet ensemencement est réputé diminuer la présence de flores d'altération en fin de fermentation et élevage. Les travaux entrepris sur la dissémination des LSA dans l'environnement vitivinicole (Poulard *et al.,* 2007) ont par ailleurs montré que si celles-ci pouvaient être logiquement, quoiqu'à faible dose, retrouvées dans les effluents, on ne les retrouvait pas sur les différents supports vitivinicoles immédiatement avant vendange. Afin de retrouver en partie la diversité levurienne des fermentations spontanées et la complexité supposée qui y serait liée, des préparations de levures non-*Saccharomyces* (notamment avec *Torulaspora delbrueckii*) ont été proposées ces dernières années. Outre qu'elles ne reproduisent pas exactement la biodiversité naturelle et qu'elles peuvent s'avérer difficiles au niveau de la mise en œuvre, ces fermentations « mixtes », même si l'impact sur le profil aromatique des vins est bien réel, n'ont pas toujours un effet aussi flagrant que souhaité.

25788_vins_blancs.indb 175 13-10-16 2:42 PM

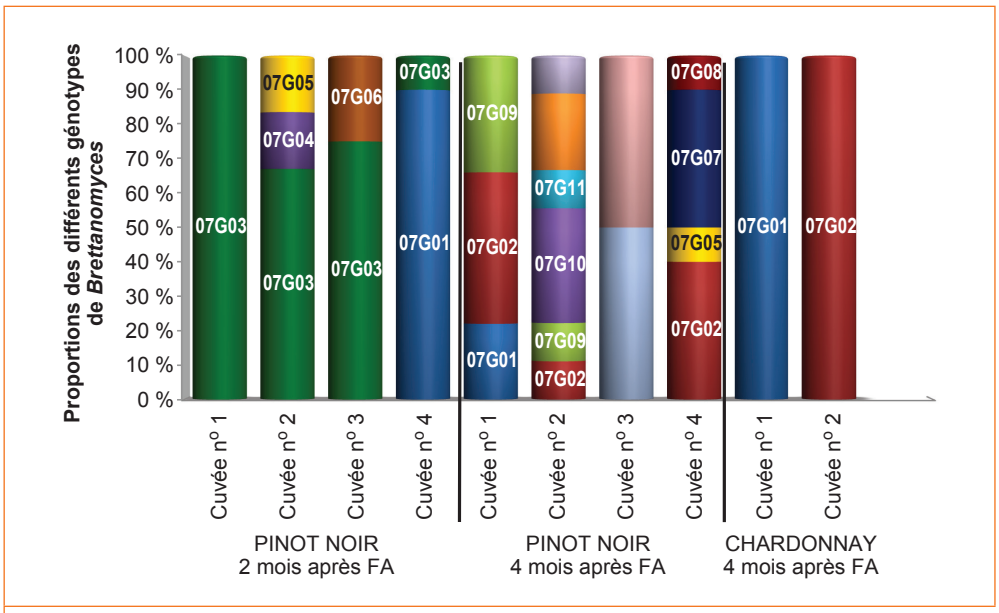


Figure 4.20 : Évolution des différents génotypes de* Brettanomyces *durant l'élevage

Conduite des fermentations

La fermentation alcoolique est une étape clé dans l'élaboration d'un vin. Au cours de ce processus, les sucres sont, pour l'essentiel, convertis en éthanol et dioxyde de carbone. Mais de très nombreux autres produits sont aussi synthétisés parmi lesquels certains jouent un rôle capital sur les propriétés sensorielles du vin final. Pour aider le vinificateur, de nombreuses levures sèches actives (LSA) ont été développées, certaines caractéristiques utiles sont rassemblées dans le guide *Choix et emploi des micro-organismes en œnologie* édité et mis en ligne par l'IFV (www.vignevin.com/outils-en-ligne). La souche de levure joue un rôle majeur mais la composition du moût et le mode de conduite de la fermentation sont aussi très importants. Optimiser le contrôle des fermentations alcooliques consiste à les sécuriser, en assurant l'épuisement en sucres, mais également à influer sur les caractéristiques du produit. Ceci constitue un objectif très complexe, d'autant plus que ce contrôle doit être mené dans le cadre de fortes contraintes législatives limitant les interventions.

Le vinificateur dispose d'un nombre croissant d'outils et de moyens d'action qui offrent de nombreuses possibilités mais dont l'utilisation doit être raisonnée et, si possible, optimisée. Ce chapitre reprend les principaux d'entre eux, en tentant de différencier ceux dont l'intérêt est avéré de ceux qui donnent encore lieu à des questionnements.

Ajouts de nutriments

Ces ajouts permettent à la fois de maîtriser la cinétique fermentaire, mais aussi de moduler la qualité du produit.

25788_vins_blancs.indb 176 13-10-16 2:42 PM

Maîtrise de la cinétique fermentaire

Lors des fermentations alcooliques, la teneur en sucre initiale est très élevée et ne devient limitante qu'en toute fin de fermentation. En revanche, d'autres nutriments sont en faibles quantités et leur limitation peut influer sur le déroulement de la fermentation. Parmi ceux-ci, il est important de distinguer ceux qui limitent la croissance cellulaire, et donc la vitesse de fermentation, de ceux qui influent sur la viabilité finale des levures. Ceci conduit à la différenciation entre les fermentations « lentes », causées avant tout par les carences azotées, et les fermentations « languissantes », caractérisées par de très faibles vitesses finales et une forte mortalité des levures causée principalement par des carences lipidiques et/ou l'insuffisance de l'oxygénation.

Dans la grande majorité des cas, la multiplication cellulaire prend fin après la consommation d'environ 20 % du sucre, suite à l'épuisement du moût en azote assimilable, ce qui explique la relation entre la vitesse maximale de fermentation et la concentration en azote assimilable des moûts (*figure 4.21*).

Cependant, il existe des situations particulières où un autre nutriment s'avère encore plus limitant pendant cette phase de croissance. C'est le cas des moûts très clarifiés, en vinification en blanc ou rosé, dans lesquels une faible teneur en particules solides conduit à une carence en composés lipidiques. Dans ce cas, les levures ne sont pas en mesure de consommer la totalité de l'azote potentiellement assimilable. Un exemple est donné dans le *tableau 4.16* (Casalta *et al.*, 2013). Il indique que l'azote assimilable ne devient donc limitant que si la teneur en bourbes est suffisante, en l'occurrence moins de 1,5 %. Cette exigence est d'autant plus forte que la concentration initiale en azote est forte. Un autre exemple est celui des moûts fortement contaminés, avant ensemencement, et qui peuvent être carencés en thiamine car cette vitamine est très rapidement consommée.

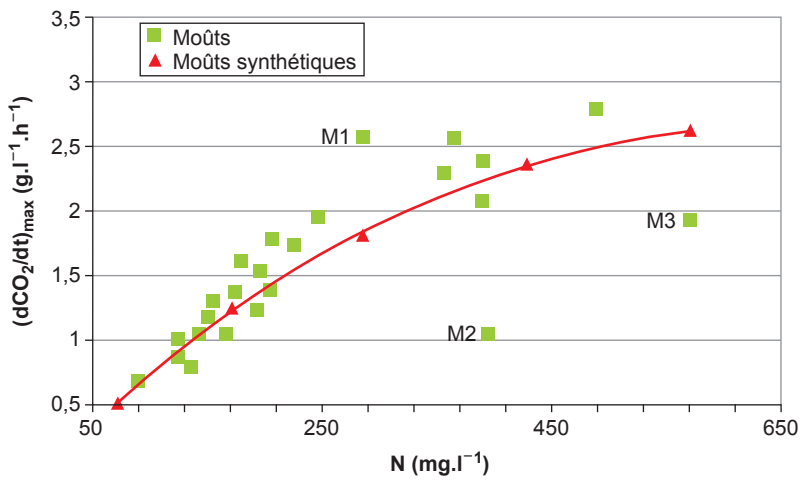


Figure 4.21 : Relation entre la concentration en azote assimilable des moûts et leur vitesse maximale de fermentation (exprimée en gCO_2/L. h, à 24 °C) (Malherbe, 2003)

Les points numérotés, qui sont les plus éloignés de la courbe, sont ceux pour lesquels l'azote assimilable n'est pas le seul nutriment limitant.

25788_vins_blancs.indb 177 13-10-11 12:23 PM

Tableau 4.16 : Effet combiné de la concentration en azote assimilable et de la turbidité sur la quantité d'azote assimilé et sur la cinétique fermentaire (Casalta *et al.*, 2012)

Moût de Sauvignon blanc avec différents ajouts d'azote assimilable et de bourbes

Modalités	Azote assimilable (mg/L)		130			170
	Turbidité (NTU)	6	115	220	6	115
Paramètres	Population maximale (10^6 cellules/mL)	39 ± 7	45 ± 3	70 ± 4	40 ± 2	64 ± 6
	Azote assimilé (mg/L)	105 ± 1	109 ± 1	122 ± 1	123 ± 1	145 ± 1
	$(dCO_2/dt)_{max}$ (g/L. h)	0,73 ± 0,00	0,78 ± 0,00	0,80 ± 0,00	0,87 ± 0,05	0,90 ± 0,00
	Sucres résiduels (g/L)	8,8 ± 1,1	7,1 ± 0,5	3,9 ± 0,2	6,6 ± 0,4	0 ± 0

Il est généralement admis que des ajouts d'azote ammoniacal sont souhaitables lorsque la teneur initiale du moût en azote assimilable est inférieure à 150-200 mg/L (Agenbach, 1976 ; Bely *et al.*, 1990). Dans ces conditions, l'addition de sels d'ammonium (phosphate diammonique – DAP – ou sulfate diammonique) accélère de façon spectaculaire la vitesse de fermentation (Bely *et al.*, 1990) et, par voie de conséquence, raccourcit fortement les fermentations. Mais le moment d'ajout est aussi très important. Si l'azote est incorporé au moment de l'inoculation, il conduit à une augmentation de la population levurienne, alors que s'il est ajouté pendant la phase stationnaire (vers la mi-fermentation), il augmente l'activité des levures, grâce, notamment, à une réactivation des systèmes de transport des sucres. Dans le cas des fermentations « lentes », caractérisées avant tout par une carence en azote, les apports d'azote ont une efficacité comparable pendant toute la première partie de la fermentation. Dans le cas des fermentations « languissantes », qui sont caractérisées par d'autres types de carences, principalement en oxygène, une addition de DAP au moment de l'inoculation peut avoir un effet contraire à celui recherché (Sablayrolles *et al.*, 1996). En effet, cette addition augmente la population et la vitesse maximale de fermentation, mais conduit à une plus forte mortalité finale à cause d'une dilution excessive des réserves lipidiques des levures. Depuis peu, des sources azotées complexes, à base d'azote organique, sont aussi disponibles. Si ces sources d'azote ont un impact différent sur le métabolisme secondaire de la levure, leur effet sur la cinétique fermentaire est très proche de celui observé avec les sels d'ammonium.

En pratique, les carences en oxygène sont parmi les causes essentielles des fermentations « languissantes » et des arrêts de fermentation et l'ajout d'au moins 10 mg/L est généralement nécessaire. Cet oxygène est surtout utilisé pour la synthèse de composés lipidiques, en particulier d'ergostérol, permettant une bonne intégrité de la membrane cytoplasmique et entraînant ainsi une meilleure résistance à l'éthanol et une plus grande viabilité en fin de fermentation. Les ajouts d'oxygène sont encore plus cruciaux dans le cas des moûts très clarifiés, avec de fortes limitations lipidiques (*cf.* p. 177). Dans ce cas, l'ajout d'oxygène permet aussi une nouvelle croissance cellulaire et une consommation complète de l'azote assimilable, ce qui se traduit par une

25788_vins_blancs.indb 178 13-10-11 12:23 PM

		210			250	
220	6	115	220	6	115	220
96 ± 1	41 ± 7	74 ± 3	98 ± 2	42 ± 3	90 ± 1	117 ± 3
168 ± 1	124 ± 2	187 ± 2	199 ± 0	132 ± 1	221 ± 1	249 ± 0
1,00 ± 0,01	0,82 ± 0,05	1,36 ± 0,00	1,42 ± 0,00	0,85 ± 0,06	1,48 ± 0,02	1,69 ± 0,04
0 ± 0	7,7 ± 0,8	0 ± 0	0 ± 0	7,2 ± 0,4	0 ± 0	0 ± 0

accélération quasi instantanée de la cinétique. Le moment le plus favorable pour l'oxygénation est la fin de la phase de croissance (vers le quart de la fermentation) avec une efficacité encore très grande à mi-fermentation.

La maîtrise de l'oxygénation est délicate dans la mesure où celle-ci doit avoir lieu en pleine fermentation, c'est-à-dire lorsque les levures consomment l'oxygène au fur et à mesure de son addition. Pour quantifier l'oxygène transféré, il est dès lors préférable de réaliser un étalonnage avant fermentation (Blateyron *et al.*, 1998). En l'absence de calibration, ces auteurs considèrent qu'avec un diffuseur produisant de fines bulles, au moins la moitié de l'oxygène injecté dans le milieu est effectivement transférée sous forme d'oxygène dissous, qui est la seule forme utilisable par les levures.

Il n'est pas toujours aisé de déterminer le type de carence des moûts. C'est pour cela que, dans le cas des « moûts à risques », Blateyron *et al.* (2001) préconisent un ajout combiné azote-oxygène. Ces auteurs ont testé l'efficacité de l'ajout couplé de 300 mg/L de diammonium phosphate et de 5 mg/L d'oxygène à mi-fermentation, sur 72 moûts donnant lieu à des arrêts de fermentation ou des fermentations languissantes. Dans tous les cas, ces ajouts se sont révélés efficaces conduisant systématiquement à un épuisement des sucres et à une baisse moyenne de 44 % de la durée de fermentation.

Même si l'azote assimilable et l'oxygène peuvent être considérés comme les nutriments principaux en conditions œnologiques, ils ne sont pas les seuls susceptibles d'influer sur le déroulement des fermentations. La thiamine peut, dans certaines situations, être limitante (*cf.* p. 177). Son addition permet alors de restaurer une cinétique de fermentation normale. La concentration en magnésium peut aussi, dans certaines conditions, avoir un effet sur la croissance et la dégradation des sucres. En effet, les ions Mg^{2+}, avec les phospholipides, jouent un rôle important pour stabiliser la membrane cytoplasmique. Il est cependant exceptionnel qu'en conditions œnologiques l'ajout de Mg^{2+}, et plus généralement, de sels minéraux, ait un effet significatif sur le déroulement de la fermentation.

25788_vins_blancs.indb 179 13-10-11 12:23 PM

Moduler les caractéristiques du produit

Si les additions d'azote ont un impact très fort sur les vitesses de fermentation, elles peuvent également avoir des conséquences sur les caractéristiques organoleptiques du produit final. Bell et Henschke (2005) insistent, à ce sujet, sur la nécessité de maîtrise des ajouts de sorte à rester dans une fourchette acceptable d'azote assimilable (initial plus ajouté) disponible pour les levures. Des quantités trop faibles conduisent souvent à des productions excessives de composés soufrés indésirables, en particulier de sulfure d'hydrogène (H_2S) et d'alcools supérieurs alors qu'elles limitent les synthèses d'esters. À l'inverse, les quantités excessives d'azote peuvent augmenter les concentrations en acétate d'éthyle et en acide acétique. Elles augmentent aussi les risques de troubles protéiques, de synthèse de molécules indésirables telles que le carbamate d'éthyle, et surtout d'instabilité microbiologique, avec des conséquences possibles en termes de vieillissement atypique par exemple. Ces risques liés aux quantités excessives d'azote doivent être d'autant plus pris en considération que l'ajout maximal autorisé a été augmenté, ces dernières années, de 300 mg/L à 1 g/L de DAP (soit de 63 mg/L à 210 mg/L d'azote). Sauf cas exceptionnel, il n'est pas souhaitable de rajouter plus de 300 ou 400 mg/L d'azote. Le moment d'ajout (initial ou début de phase stationnaire) ainsi que la source d'azote (ammoniacal ou aminé) ont de plus un effet sur la synthèse d'arômes fermentaires, mais les données disponibles dans la littérature (Beltran *et al.*, 2005 ; Hernandez-Orte *et al.*, 2006 ; Barbosa *et al.*, 2009) sont parfois contradictoires et très dépendantes des conditions utilisées. Plusieurs études sont actuellement en cours pour avancer dans la compréhension des mécanismes mis en jeu et leur maîtrise. La libération d'arômes variétaux, tels que les thiols, peut aussi être influencée par l'addition de DAP. En effet, ce nutriment est susceptible, *via* le système de transport des composés azotés, de modifier l'entrée des molécules précurseurs des thiols aromatiques dans la cellule et donc la libération ultérieure de la fraction aromatique (Roland *et al.*, 2011).

L'addition d'oxygène peut en outre avoir une influence sur la production de molécules aromatiques. Blateyron *et al.* (2001) n'ont détecté aucune modification sensorielle après ajouts de 5 mg/L d'oxygène en début de phase stationnaire, alors qu'un effet très négatif était observé lorsque la quantité ajoutée était excessive (50 mg/L). Récemment, Varela *et al.* (2012) ont décrit un impact de l'oxygénation sur la concentration en alcools supérieurs et sur le ratio esters d'acétate/esters d'éthyle ainsi que l'interaction entre l'oxygénation et la présence ou l'ajout de lipides. Concernant les lipides, ils ont aussi une incidence avérée sur l'acidité volatile dont ils limitent la production de façon très sensible.

Il est clairement montré que l'ajout de nutriments constitue un moyen potentiel pour influer sur les caractéristiques, essentiellement aromatiques, du vin. Les principaux mécanismes conduisant à la réduction de composés indésirables tels que l'acide acétique ou H_2S sont relativement bien décrits. En revanche, beaucoup de questions méritent encore d'être approfondies avant de pouvoir se traduire en recommandations pratiques permettant d'orienter de façon fiable et reproductible les caractéristiques aromatiques des vins.

Température

Le contrôle de la température constitue un des moyens d'action principaux à la disposition du vinificateur. S'il peut être effectué a minima, pour éviter les risques liés à des températures trop élevées, il existe un enjeu majeur à l'utiliser pour influer à la fois sur le déroulement de la fermentation et la qualité du produit.

25788_vins_blancs.indb 180 13-10-11 12:23 PM

Impact technologique

La température a un effet primordial sur la cinétique fermentaire. Entre 15 et 25 °C, la vitesse de fermentation est doublée lorsque la température est augmentée d'environ 8 °C. Le profil de température est, lui aussi, important et une augmentation de plusieurs degrés en cours de fermentation – cas très fréquent en œnologie – modifie profondément la courbe de fermentation.

Le *tableau 4.17* illustre l'impact du régime de température entre 15 °C et 22 °C soit une gamme d'intérêt pour les fermentations en blanc, avec une augmentation de température, soit dès le début, soit dans la deuxième partie de la fermentation, en comparaison avec des isothermes à 15 °C et 22 °C. De façon logique, les fermentations menées en non-isothermie ont des durées de fermentation intermédiaires, avec des fermentations plus rapides lorsque la température augmente dès le début. On peut cependant noter que l'augmentation de température pendant la deuxième partie de la fermentation – qui correspond à une pratique courante – a un effet très significatif, avec un gain de sept jours comparativement à l'isotherme à 15 °C. Le fait d'augmenter la température jusqu'à 22 °C permet aussi des économies d'énergie conséquentes, respectivement de 43 % (Étot = 811 103 kcal) et 34 % (Étot = 935 103 kcal) par rapport à l'isothermie à 15 °C. L'augmentation plus tardive (à mi-fermentation) présente en outre l'intérêt de conduire à une valeur modérée de la puissance maximale nécessaire (Pmax). En effet, dans ce cas, la vitesse maximale de fermentation est la même que celle obtenue lors de la fermentation à 15 °C.

Impact sur la qualité

L'impact de la température de fermentation sur la qualité des vins est encore loin d'être entièrement compris et maîtrisé. En effet, les phénomènes mis en jeu sont complexes et multiples (effet sur le métabolisme des levures, phénomènes physico-chimiques...). De grandes tendances, décrites par plusieurs auteurs et observées régulièrement dans les caves, peuvent, malgré tout, être dégagées.

Tableau 4.17 : Effet du régime de température sur la durée de fermentation (Df), la vitesse maximale de fermentation (Vmax), la puissance frigorifique maximale (Pmax) et la dépense totale en énergie (Étot)

T_{init}	T_{fin}	DT	Durée (j)	Vmax (g S/L. h)	Pmax (kcal/h)	Étot (10^3 kcal)
15	15		23	1,24	7 960	1 411
15	22	Début	12,5	1,77	9 777	811
15	22	Mi-FA	16	1,24	7 760	935
22	22		11	2,27	13 229	1 103

T_{init} : température initiale, T_{fin} : température finale, DT : régime d'augmentation de température
Début : augmentation de la température dès le début de la fermentation, mi-FA : augmentation de la température à partir de la mi-fermentation. Volume de la cuve simulée : 500 hL. Température extérieure : 15 °C.

25788_vins_blancs.indb 181 13-10-11 12:23 PM

Lors des vinifications en blanc ou rosé, les températures très basses (10 à 15 °C) favorisent la production d'arômes fermentaires tels que les esters. De telles températures peuvent être utilisées pour augmenter le caractère fruité des vins. Mais, dans ce cas, les risques de fermentations languissantes, voire d'arrêt de fermentation, sont fortement augmentés et une bonne gestion de la fermentation est indispensable. Elle inclut, en particulier, le choix d'une levure suffisamment cryotolérante et une augmentation de température en fin de fermentation. Masneuf-Pomarède *et al.* (2006) ont aussi mis en évidence l'importance de la température vis-à-vis de la libération d'arômes variétaux, plus particulièrement de thiols. Ces auteurs ont montré que, quelle que soit la souche utilisée, la production de ces composés est supérieure à température relativement élevée (20 °C) qu'à température basse (13 °C). Le choix de la température peut donc être considéré comme un moyen de favoriser soit les arômes fermentaires, soit les arômes variétaux.

Souche de levure

Performances fermentaires

Colombie *et al.* (2005) ont caractérisé les cinétiques de fermentation obtenues avec vingt souches de levures choisies au hasard parmi celles disponibles sur le marché français. Les résultats obtenus, sur un milieu synthétique simulant un moût de raisin facilement fermentescible, mettent en évidence des différences relativement faibles avec, respectivement : des vitesses maximales de production de CO_2 comprises entre 1,85 et 2,52 g/L. h, des durées de fermentation de 80 à 109 heures et des populations comprises entre 114 et 188 × 106 cellules/mL.

Des différences beaucoup plus importantes sont rapportées par Blateyron *et al.* (2001), qui ont comparé les performances de treize souches (choisies au hasard) dans un moût très difficile à fermenter et donc beaucoup plus discriminant. Trois souches ont conduit à des arrêts de fermentation, avec des concentrations résiduelles en sucres parfois considérables (10 à 56 g/L), alors que les dix autres ont permis l'épuisement des sucres avec des durées de fermentation variant de 119 à 170 heures.

Plusieurs travaux ont montré que ces différences étaient principalement causées par des besoins différents en azote assimilable et oxygène et que ces besoins en azote variaient très sensiblement avec la température.

Influence sur les caractéristiques du vin

De plus en plus, les vinificateurs effectuent le choix de la souche de levure en fonction du type de vin souhaité.

La concentration finale en éthanol est un paramètre crucial, d'autant plus que la richesse moyenne en sucres des moûts a fortement augmenté au cours des dernières décennies. Certains vinificateurs souhaiteraient pouvoir abaisser le degré final de 2 % environ, en diminuant le rendement en éthanol de la fermentation alcoolique. Est-ce possible avec des souches actuellement commercialisées ? La comparaison de cinquante-cinq souches, en conditions parfaitement standardisées (Julien, communication personnelle), n'a mis en évidence que des différences faibles dans les concentrations finales en éthanol comprises entre 10,72 et 11,09 %. Ces résultats indiquent qu'il est illusoire de rechercher des différences en éthanol final supérieures à 0,5 % en changeant de souche commerciale. Il est en revanche envisageable d'obtenir des souches modifiées (pas nécessairement des OGM) qui auraient effectivement ces caractéristiques. Plusieurs approches sont actuellement testées en ce sens (*cf.* p. 183).

25788_vins_blancs.indb 182 13-10-11 12:23 PM

L'impact de la levure sur la synthèse de composés aromatiques est davantage pris en compte, mais il s'agit d'une caractéristique difficile à estimer. En effet, la synthèse de ces molécules d'intérêt est toujours influencée, non seulement par la souche, mais aussi par la composition du moût et le mode de conduite de la fermentation. Malgré ces difficultés, il existe des données de plus en plus fiables sur les capacités de certaines souches :

- à augmenter le caractère fruité des vins. L'aptitude à produire des vins fruités, avec de fortes teneurs en esters, peut être un critère de sélection majeur. Plusieurs souches cryotolérantes ont été sélectionnées pour des fermentations à très basse température (10-12 °C). Dans de telles conditions, ces souches produisent notamment des quantités très importantes de 2-phényléthanol et de son acétate ;
- pour augmenter ou moduler le caractère variétal de certains cépages. Si les mécanismes mis en jeu en cours de fermentation (molécules précurseurs, voies métaboliques impliquées, effet des variables opératoires) ne sont encore que partiellement compris (Roland *et al.*, 2011), nul doute que l'aptitude des levures à libérer des arômes variétaux deviendra un critère primordial et de mieux en mieux mesurable ;
- pour limiter la production d'acides organiques ou de composés indésirables tels que les phénols volatils ou le H_2S.

C'est ainsi qu'a été décrite une souche qui ne produit quasiment plus de H_2S. Plusieurs auteurs ont aussi mis en évidence l'intérêt de certaines souches spécifiques pour produire des mannoprotéines.

Quelques perspectives

L'industrie viticole doit s'adapter davantage aux goûts et exigences des consommateurs. En quoi de nouvelles approches, au niveau de la fermentation, pourraient-elles aider à obtenir des produits aux caractéristiques prédéfinies, en prenant en compte la variabilité de la matière première ? Voici quelques pistes de réponses possibles.

De nouvelles levures

Des innovations sont fortement probables dans le domaine des levures œnologiques. En effet, les connaissances ne cessent de progresser, avec un rythme qui s'accélère, grâce, notamment, à l'utilisation des approches génomiques et postgénomiques (Galeote *et al.*, 2011). Pour les praticiens, l'enjeu est une meilleure compréhension des caractères d'intérêt technologique, avec pour conséquence, une possibilité de reconnaissance de ces caractères et d'aide pour une « sélection assistée », des perspectives d'amélioration ciblées des souches. Il est à noter que les techniques de croisement sont à nouveau à l'ordre du jour mais, là encore, avec une possibilité d'« assistance » par des marqueurs moléculaires de façon à rendre cette approche beaucoup plus performante. C'est ainsi qu'a été proposée, par exemple, une souche combinant de bonnes capacités fermentaires avec un très faible niveau de production de composés volatiles indésirables (Marullo *et al.*, 2006). Plusieurs équipes travaillent actuellement sur l'amélioration des souches, avec parmi les objectifs technologiques principaux : la libération des thiols variétaux et la baisse du rendement en éthanol (Dequin, 2011).

Une autre perspective concerne l'utilisation de levures non-*S. cerevisiae*. En effet, si l'on souhaite élargir la gamme et la complexité aromatique des vins, une possibilité consiste à ensemencer à la fois des levures *S. cerevisiae*, pour assurer la fiabilité de la fermentation, associées à d'autres espèces telles que *Candida stellata*, *Torulospora delbrueckii*, *Debaryomyces vanrijiae* ou *Hanseniaspora valbyensis* pour obtenir des quantités plus grandes d'arômes fermentaires.

25788_vins_blancs.indb 183 13-10-11 12:23 PM

Pour maîtriser de telles cultures, des stratégies telles que l'inoculation séquentielle ont été proposées mais la dissémination des cultures mixtes ne pourra avoir lieu que lorsque seront mieux compris les mécanismes complexes d'interaction entre souches.

Un contrôle optimisé des fermentations

Malgré toutes les avancées en termes de contrôle des fermentations effectuées au cours des dernières décennies, on peut considérer qu'il existe encore une marge très importante.

Une perspective ambitieuse consiste à adapter le mode de contrôle (température, ajouts de nutriments…) en fonction des caractéristiques du moût utilisé et du type de vin souhaité. Cela passe par un suivi très fin et automatique du déroulement de la fermentation, afin de connaître à tout instant, non seulement les concentrations en sucres et alcool mais aussi la vitesse de fermentation. Ce paramètre, qui n'est pas accessible avec des mesures manuelles, est intéressant à plusieurs titres. En effet, il est directement proportionnel, d'une part, à l'activité des levures, d'autre part, aux besoins instantanés en puissance frigorifique. Il s'agit d'une information très pertinente pour améliorer la fiabilité de la fermentation et l'utilisation des ressources de la cave (cuverie, groupes frigorifiques), en ajoutant des nutriments seulement si nécessaire et au meilleur moment, par exemple. Cette vitesse est aussi proportionnelle aux pertes de composés aromatiques dans la phase gaz et représente donc une information certainement aussi pertinente que la température. C'est particulièrement vrai lorsqu'il s'agit d'optimiser la production de ces composés en réalisant des fermentations à basse température (et donc à faible vitesse).

L'intérêt potentiel du suivi en ligne est discuté depuis la fin des années 1980, mais à cette époque la technologie nécessaire (ordinateurs, capteurs) était incompatible avec le contexte œnologique. En revanche, ce contexte a bien évolué, comme en attestent de nombreux essais industriels actuellement en cours à travers le monde, et les premiers dispositifs commerciaux permettant ce type d'approche apparaissent sur le marché.

Au-delà du suivi et du contrôle de la cinétique fermentaire, de nouvelles fonctionnalités sont envisageables (Sablayrolles, 2009), tels que le suivi (si possible en ligne) et la prise en compte dans la stratégie de contrôle de « molécules marqueurs » ayant un impact organoleptique, permettant ainsi de piloter directement la fermentation en fonction de paramètres reliés à la qualité du produit.

De façon générale, les fermentations devraient, dans les années à venir, être contrôlées de plus en plus finement grâce à l'apparition de nouveaux outils et à la mise en œuvre de nouveaux modes de contrôle. Mais ces évolutions ne seront effectives que si elles sont perçues par les vinificateurs comme de nouveaux moyens mis à leur disposition et venant en complément – et non à la place – de leur expertise.

25788_vins_blancs.indb 184 13-10-11 12:23 PM

Fermentation malolactique

14

Si pour les vins rouges la fermentation malolactique est la règle, elle est beaucoup moins systématique pour les vins blancs, dans lesquels la fraîcheur et une certaine acidité priment. Cependant, dans de nombreux cas, en zone septentrionale notamment, ce processus fermentaire particulier est désiré, car outre la stabilisation du produit et la baisse de son acidité, elle apporte une des caractéristiques organoleptiques qui conviennent bien aux vins blancs « de garde » en particulier.

Comme pour la partie consacrée à la fermentation alcoolique, la partie qui suit s'attachera à décrire dans un premier temps les micro-organismes responsables et leur métabolisme, pour dans un second temps exposer les bonnes pratiques pour la mise en œuvre d'une fermentation malolactique maîtrisée.

Bactéries lactiques du vin

Biodiversité des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques du vin appartiennent à deux familles taxonomiques de bactéries dans l'ordre des *Lactobacillales*, les *Lactobacillaceae* et les *Leuconostocaceae*. Elles ont toutes en commun un certain nombre de caractères dont les plus importants sont : l'appartenance au groupe des bactéries à Gram positif et la capacité à former de l'acide lactique par fermentation des sucres. Le premier en rapport avec la composition de la paroi implique que ces bactéries sont bien différenciées des bactéries acétiques par la coloration de Gram et sensibles au lysozyme, à l'inverse des autres micro-organismes du vin. Dans le moût de raisin et le vin, les *Lactobacillaceae* sont les plus divers avec les nombreux lactobacilles (*Lactobacillus plantarum*, *L. casei*, *L. brevis*, *L. hilgardii*, *L. fructivorans*, *L. kunkei*...) et les pédiocoques (*Pediococcus parvulus*, *P. damnosus*, *P. pentosaceus*). Les *Leuconostocaceae* sont représentés par *Leuconostoc mesenteroides* et *Oenococcus oeni*.

Une espèce est un ensemble d'individus, des souches, qui partagent un grand nombre de caractères (génotypiques et phénotypiques) et se distinguent nettement d'autres. À l'intérieur des espèces, la variabilité entre souches est plus ou moins grande.

Les différences entre les souches et *a fortiori* entre les espèces sont directement liées à celle des génomes. Pour l'espèce *O. oeni*, trois génomes complets sont disponibles dans les banques et plusieurs dizaines connus dans des laboratoires. Les souches ont des gènes communs avec les caractères de l'espèce. De nombreux autres sont uniques, ou plus ou moins partagés, et déterminent l'originalité de la souche pour sa capacité à se multiplier dans le vin ou ses activités métaboliques. La diversité des génotypes est mise à profit dans les méthodes de typage des souches. Le repérage d'une souche *d'O. oeni* est de plus en plus précis, et devient un outil majeur tant dans le contrôle de la production que de l'implantation des levains industriels. Bien

25788_vins_blancs.indb 185 13-10-11 12:23 PM

que la diversité des lactobacilles et de pédiocoques du vin n'ait pas été étudiée, elle est certainement très large aussi.

Dans le processus spontané de la vinification, c'est sur la diversité que repose la qualité du vin. Le moût de raisin héberge plusieurs espèces et pour chacune plusieurs souches, en nombre variable selon l'écosystème. Très rapidement et progressivement, depuis le déclenchement de la fermentation alcoolique jusqu'au sulfitage de stabilisation après FML, la diversité diminue. L'espèce *O. oeni* devient majoritaire, d'autant plus vite et complètement que les conditions de milieu sont plus difficiles. Toutefois, d'autres espèces, en grande partie éliminées dès les premiers jours de la vinification, sont encore représentées dans les vins finis par des souches atypiques très tolérantes à la toxicité du milieu.

Métabolismes des bactéries lactiques dans le vin

Pour longtemps encore, l'inventaire de toutes les molécules du vin métabolisées par les bactéries lactiques restera incomplet. Parmi elles, les mieux connues sont les sucres et les acides malique et citrique. D'autres plus récemment étudiées sont des acides aminés et quelques composés plus ou moins complexes, généralement des dérivés osidiques.

La plupart des bactéries lactiques du vin utilisent les sucres par la voie hétéro-fermentaire. À partir d'hexoses et de pentoses, elles forment de l'acide lactique, du CO_2, de l'éthanol et de l'acide acétique. C'est le cas des lactobacilles les plus présents, *L. hilgardii*, *L. brevis*, et d'*O. oeni*. Seuls certains pédiocoques sont homo-fermentaires stricts et produisent exclusivement de l'acide lactique à partir des sucres. Des lactobacilles comme *L. plantarum* et *L. casei* sont hétéro-fermentaires facultatifs, ce qui signifie qu'ils fermentent généralement les hexoses en acide lactique et les pentoses en acide lactique, CO_2, éthanol et acide acétique. Par conséquent, la majorité des bactéries lactiques du vin produisent de l'acide acétique à partir des sucres du moût ou du vin, que ce soit des hexoses ou des pentoses.

L'acide L-malique est décarboxylé en acide L-lactique par toutes les bactéries lactiques du vin. C'est la réaction caractéristique de la FML, celle qui assure la plus grande partie du changement sensoriel du vin, désacidification, assouplissement du vin. C'est une réaction assez simple, en une étape, catalysée par une seule enzyme dont le fonctionnement intime n'a pas été totalement élucidé. Tout l'acide malique est utilisé pendant la FML, que sa concentration initiale soit faible (~ 1 g/L) ou pas (~ 7-8 g/L).

L'acide citrique est métabolisé par presque tous leslactobacilles et par les coques hétéro-fermentaires, dont *O. oeni*. Sa concentration en fin de fermentation alcoolique est de l'ordre de 0,2 à 0,3 g/L. Il est toujours dégradé, mais plus lentement que l'acide malique, de sorte qu'à la fin de la FML, il peut rester jusqu'à la moitié de la concentration initiale. En général, sa dégradation se poursuit plus lentement encore, même après un sulfitage, tant que les bactéries conservent encore une activité. La voie de dégradation est complexe. Elle aboutit à l'acide acétique et aux composés acétoïniques. Le diacétyle, avec son arôme beurré, a le plus grand impact et ajoute de la complexité au bouquet du vin. Pour une même quantité d'acide citrique, la concentration finale en diacétyle varie avec plusieurs facteurs : souche, vitesse de dégradation, durée de FML et du contact avec les lies. Le diacétyle formé est continuellement réduit en acétoïne et butanediol, non ou très peu odorants, par les activités réductase présentes.

Les acides aminés, dont beaucoup sont dits indispensables car ils doivent être fournis pour la synthèse des protéines, sont pour quelques-uns dégradés par certaines espèces ou souches. Dans ce cas, ils sont aussi des sources d'énergie. L'arginine est dégradée par tous les lactobacilles hétéro-fermentaires, mais aussi par de nombreuses souches d'*O. oeni*. La voie de

25788_vins_blancs.indb 186 13-10-11 12:23 PM

l'arginine déiminase comprend une suite de trois réactions. La citrulline, produit intermédiaire, peut être libérée ; c'est un précurseur d'éthyl carbamate, mais les concentrations sont très faibles, négligeables devant celles venant de l'urée libérée par la levure. L'autre produit est l'ornithine, acide aminé qui s'ajoute à celui qui existe dans le vin. D'autres acides aminés, l'ornithine, l'histidine et la tyrosine pour les principaux, sont décarboxylés par certaines souches, notamment parmi les espèces *L. hilgardii* et *O. oeni*. C'est la source des amines biogènes, putrescine, histamine et tyramine. Les souches d'*O. oeni* qui métabolisent ainsi ces acides aminés ont intégré dans leur génome une région spécifique qui code pour toutes les enzymes et transporteurs nécessaires. Elles ont sur les autres souches un avantage avec ces sources d'énergie supplémentaires. Par ailleurs, des acides aminés sont métabolisés en composés dont l'impact aromatique a été démontré. C'est le cas de la méthionine dont la voie de dégradation a été étudiée chez *O. oeni*. À l'issue d'un chemin métabolique compliqué, les molécules sulfurées produites sont en concentration suffisante pour participer au goût et à l'arôme.

Enfin, les nombreuses molécules glycosylées du raisin encore présentes dans le vin sont des substrats potentiels. La partie osidique est libérée du reste de la molécule par l'activité glycosidase. Le reste de la molécule devient odorant (terpènes, norisoprenoïdes...) et contribue aux notes fruitées et florales. D'autre part, pendant la FML, les concentrations en différents esters augmentent.

D'autres métabolismes des bactéries lactiques sont à l'origine des « maladies des vins », tourne, amertume et graisse dont la fréquence a nettement diminué. La tourne (dégradation de l'acide tartrique) est très rare ; l'amertume (dégradation du glycérol) aussi, mais encore actuelle dans des modes de vinification particuliers comme les vins de base de Cognac. La graisse (production de glucane) est sans doute la plus fréquente. Toutefois, après les études déclenchées suite à quelques millésimes difficiles, les souches responsables sont connues et désormais détectées spécifiquement et rapidement par PCR.

Généralités sur la croissance des bactéries lactiques du vin

A priori, le vin n'est pas un milieu favorable à la croissance des bactéries lactiques. Les espèces qui s'y multiplient sont rares parmi les dizaines qui forment le groupe des *Lactobacillaceae*. Ce sont des espèces dont les souches sont suffisamment diverses pour s'adapter à des niches variables (ex. : *L. plantarum*) ou dont l'évolution a conduit à une adaptation plus stricte au milieu (ex. : *O. oeni*). Leur acidophilie et leur tolérance à l'éthanol sont des caractères distinctifs essentiels, mais en plus elles s'accommodent de la toxicité de nombreux composés du vin. Il n'empêche que, dans la pratique, malgré ces conditions difficiles les populations se multiplient activement, puisque la FML n'est pas un phénomène rare.

La croissance des bactéries suppose qu'elles trouvent dans le milieu les substrats indispensables aux synthèses des composants cellulaires, et ceux dont la dégradation fournit l'énergie pour les synthèses et le maintien de l'activité et de l'intégrité membranaire. Les conditions nutritionnelles sont généralement remplies dans le vin où les concentrations en sucres résiduels et la variété des acides aminés après la fermentation alcoolique sont suffisantes. Les difficultés de croissance sont beaucoup plus liées à la toxicité du milieu, qu'il s'agisse de métabolites de la levure (éthanol, acides gras) ou de constituants du raisin (acidité, polyphénols, autres composés de la plante). Les autres paramètres déterminants pour la multiplication des bactéries lactiques sont liés aux pratiques de la vinification, sulfitage de la vendange et température. Les règles élémentaires de vinification pour le démarrage de la FML reposent sur quatre facteurs : pH, titre alcoométrique, température et concentration en SO_2 (*cf.* p. 188). Ils agissent ensemble, la valeur plus favorable de l'un pouvant compenser celle plus défavorable d'un autre.

25788_vins_blancs.indb 187 13-10-11 12:23 PM

Concernant les bactéries des levains, les effets du vin reposent sur les mêmes éléments, mais les réponses des bactéries sont différentes. Toute bactérie que l'on réussit à isoler de son milieu naturel perd immédiatement son adaptation à ce milieu. Pourtant l'isolement est le passage obligé de la sélection et de la préparation des levains. L'inoculation dans le vin se traduit par une perte de viabilité, donc d'activité malolactique. Les travaux soutenus par les industriels du secteur ont toutefois abouti à de sérieux progrès dans la performance des préparations commercialisées.

Maîtrise de la fermentation malolactique

Fermentation malolactique et vinification en blanc

En vinification en blanc, la réalisation de la FML reste un choix lié à un objectif produit. En France, les vins blancs de Bourgogne et les vins de base de Champagne sont très majoritairement concernés. Au-delà de la stabilisation microbiologique, cette opération favorise un élevage prolongé. Le séjour en fût de chêne ou la présence de bois ainsi qu'un séjour sur lies avec une utilisation limitée de SO_2 contribuent alors au développement de la complexité aromatique. En Bourgogne, tout au moins, il n'est pas rare que la FML se réalise parallèlement à une fin de fermentation alcoolique languissante. En vinification en blanc, cette situation est d'autant moins alarmante que l'acidité du vin est soutenue. Lorsque le pH est inférieur à environ 3,25, après la dégradation de l'acide malique, les bactéries régressent spontanément sans autre conséquence. Pour les vins blancs peu acides, les suivis de l'acide malique, des sucres résiduels et de l'acide acétique renseignent sur la conduite à tenir.

Les régions produisant des vins blancs favorisant les arômes primaires de raisins et secondaires de fermentation alcoolique sont traditionnellement opposées à la réalisation de la FML. Au fil des années, cette dichotomie entre les régions pour ou contre la FML tend à évoluer. La diffusion d'un cépage comme le Chardonnay et la recherche d'itinéraires de vinification alternatifs favorisent l'extension de la FML en vinification en blanc.

Du point de vue pratique, la FML est attendue à la suite de la fermentation alcoolique. Si la flore bactérienne est déficiente, le délai peut être trop élevé et qualitativement défavorable au vin. Des micro-organismes indésirables peuvent se développer et le vin est exposé à des phénomènes d'oxydation incontrôlés. L'ensemencement bactérien constitue la solution logique et pertinente. La connaissance des inhibiteurs des bactéries lactiques et la bonne utilisation des biomasses conditionnent la réussite de cette technique efficace mais encore sous employée.

Inhibiteurs des bactéries lactiques en vinification

Le principal inhibiteur des bactéries lactiques en vinification en blanc est sûrement le SO_2 ajouté au moment du pressurage. Pour favoriser la FML, il est important de minimiser ce sulfitage en fonction des données œnologiques. Un cépage comme le Chardonnay n'est pas pénalisé par une protection limitée des moûts contre l'oxydation. Il est approprié de ne pas sulfiter le moût à plus de 40 mg/L. La fraction moléculaire du SO_2 est active vis-à-vis des micro-organismes et des bactéries lactiques en particulier. Elle est fonction de la teneur en SO_2 libre et, surtout, du pH : elle augmente lorsque le pH diminue. Pour les bactéries lactiques, la peine est double car le pH est déjà un facteur limitant en tant que tel. La limite de tolérance des souches d'*O. oeni* les plus acidophiles est de l'ordre de pH 2,9.

25788_vins_blancs.indb 188 13-10-11 12:23 PM

Un troisième facteur doit également alors être pris en considération : le titre alcoométrique. La FML intervenant généralement après la fin de la fermentation alcoolique, les bactéries lactiques sont inhibées par l'éthanol. Mais, parallèlement l'activité des levures est aussi positive en combinant le SO_2, annulant ainsi la forme moléculaire.

La température évolue largement au cours des différentes phases de la vinification. Il est couramment admis qu'une température de 18 à 20 °C favorise la croissance de la flore indigène et est propice pour la FML. Le raisonnement est différent en cas d'ensemencement bactérien. L'implantation de la biomasse inoculée est alors favorisée par une température fraîche qui induirait un ralentissant des échanges avec le milieu extérieur. La cellule exploite alors mieux son potentiel d'adaptation aux conditions défavorables. Une température de l'ordre de 15/16 °C est un bon compromis entre bonne implantation des cellules dans le vin et activité métabolique satisfaisante pour la réalisation de la FML.

Parallèlement à ces facteurs connus et documentés, d'autres peuvent avoir une incidence sur la FML. Les facteurs nutritionnels sont difficiles à appréhender. La flore bactérienne responsable de la FML n'a besoin que de très peu de nutriments en terme quantitatif. Mais, du point de vue qualitatif, la question reste posée, même si, dans la grande majorité des cas, un apport de nutriments spécifiques pour les bactéries lactiques n'a pas ou peu d'incidence. Le niveau d'oxydoréduction du vin est aussi un facteur mal connu. Les bactéries lactiques sont des germes micro-aérophiles. Une pratique œnologique comme la remise en suspension des lies peut avoir un effet support pour les bactéries, parallèlement à l'apport nutritionnel de l'autolyse des levures. Enfin, les interactions entre les micro-organismes et les attaques phagiques sont des phénomènes connus qui semblent secondaires quant au développement de la FML en vinification.

Ensemencement bactérien en œnologie

Historique et avancées techniques

L'ensemencement bactérien des vins pour la maîtrise de la FML est devenu une réalité technique à partir du milieu des années 1980. En France, les travaux, principalement conduits par l'IFV et le CIVC, ont permis le développement des premières biomasses lyophilisées offrant une certaine efficacité. Les levains sont le fruit de sélections de souches d'*O. oeni*, collectées du milieu naturel. La mise en œuvre de ces biomasses « de première génération » nécessite des étapes préalables ainsi qu'un suivi analytique. Les avancées scientifiques, notamment liées aux travaux de la Faculté d'œnologie de Bordeaux sur le stress bactérien, ont permis la mise au point de la première biomasse à ensemencement direct en 1993. Les bactéries lactiques deviennent alors aussi faciles à utiliser que les levures sèches actives. La préadaptation de la biomasse bactérienne aux conditions vinaires n'est plus assurée par l'utilisateur lors des étapes de réactivation mais par le fabriquant lors de la production. Le procédé s'est affiné au fil des ans et s'applique aux nouvelles sélections de souches de bactéries lactiques indigènes.

Cette technologie présente toutefois des revers. L'ensemencement direct a induit une élévation du coût des biomasses du fait d'un dosage élevé et d'un surcoût de fabrication. Et la simplicité d'utilisation peut induire une perte de vigilance quant aux règles de base favorisant la réalisation de la FML. À partir de ce constat, les fabricants ont développé, au cours des années 2000, des préparations d'un coût moindre mais présentant diverses contraintes : biomasses congelées, biomasses à réactiver 24 heures, biomasses spécifiques pour la co-inoculation…

Quelles que soient la biomasse bactérienne et sa plus ou moins grande facilité d'utilisation, il est indéniable que ce « produit œnologique », vivant, nécessite un bon respect des fiches techniques pour être pleinement efficace.

25788_vins_blancs.indb 189 13-10-11 12:23 PM

Aptitudes des souches bactériennes et production des biomasses

Les levures œnologiques sont principalement utilisées pour déclencher la fermentation alcoolique dans un moût. Seul un contrôle d'implantation peut alors démontrer ou non l'efficacité de cette opération. La FML intervient plus tardivement. Si la flore indigène est déficiente, seule la flore ensemencée peut déclencher la FML. En cas d'échec, l'implantation de la biomasse n'est pas satisfaisante et l'utilisateur apprécie facilement l'efficacité de la technique. Cette réalité a imposé le développement de biomasses toujours plus performantes avec des aptitudes œnologiques toujours mieux renseignées.

O. oeni est l'espèce de bactérie spécifique du vin. Cependant, comme pour *Saccharomyces cerevisae*, une grande biodiversité existe dans le milieu naturel, elle-même induite par des caractéristiques de milieu très différentes. La sélection de nouvelles souches constitue la base du développement d'un nouveau levain : choix des vins à prélever, constitution d'une collection et conduite de tests spécifiques. L'objectif est de retenir une souche originale, répondant au cahier des charges de la sélection. Cette souche n'a d'intérêt que si elle peut être produite sous la forme d'une biomasse reproductible et stable. Si la stabilité génétique de la souche peut être établie, il n'en est pas de même pour l'interaction entre la cellule et son milieu de culture. Sa résistance aux conditions défavorables évolue en fonction des conditions de milieu. Pour produire de la biomasse en quantité, des conditions optimales de croissance sont requises, ce qui généralement diminue la résistance aux conditions du vin. L'application de stress bien définis durant la production, provoque des modifications cellulaires, permettant de récupérer le niveau de résistance attendu pour la souche sélectionnée. La dernière phase délicate de la production du levain est la lyophilisation qui permet une conservation longue du produit fini.

Il est intéressant de constater que les levains ont en général perdu l'aptitude à produire des amines biogènes, que pouvait avoir la souche indigène initialement isolée (*cf.* p. 187). Cette caractéristique induite par les opérations d'isolement, de purification et de production est mise à profit pour élaborer des vins de meilleure qualité hygiénique.

Moment d'inoculation

Il est admis que la FML doit se réaliser après la fin de la fermentation alcoolique. L'ensemencement bactérien est donc traditionnellement positionné à ce stade. Avec une technique bien maîtrisée, le taux de réussite est supérieur à 90 %. Selon les conditions, la FML est ainsi réalisée dans un délai de quinze jours à deux mois.

Mais, l'ensemencement bactérien est souvent décalé dans le temps, afin de ne traiter que les situations critiques où la FML ne s'enclenche pas. Ce traitement curatif ne permet pas une réelle maîtrise de la FML et expose le vin blanc à un risque accru d'oxydation prématurée. De plus, un ensemencement tardif est proportionnellement moins efficace qu'en fin de fermentation alcoolique. Les raisons peuvent être diverses : évolution des conditions d'oxydoréduction, perte de dioxyde de carbone, clarification du milieu, présence de SO_2 actif...

Inversement, l'ensemencement précoce en cours de fermentation alcoolique mérite d'être considéré. En vinification en blanc, le risque de piqûre lactique se limite aux moûts peu acides avec une fin de fermentation alcoolique languissante. Un suivi précis de la FML est alors impératif pour une intervention sans retard après la fin de la dégradation de l'acide malique. Mais le classique sulfitage inhibe aussi les levures. Le recours au lysozyme, spécifiquement inhibiteur des bactéries lactiques, peut être une solution, mais il faut vérifier la stabilité protéique du vin fini. L'ensemencement précoce doit également tenir compte de contraintes techniques pour en assurer la réussite. Il est préférable d'attendre quelques jours après le départ de la fermentation

25788_vins_blancs.indb 190 13-10-11 12:23 PM

alcoolique pour inoculer les bactéries lactiques. Le SO_2 est alors combiné par les levures et le pH s'élève sensiblement parallèlement à la production d'éthanol. Il est aussi important d'éviter d'ensemencer en cas de température non régulée et trop élevée (> 19/20 °C). Aussi, plutôt que de risquer une mauvaise implantation des bactéries lactiques dans le cadre d'un ensemencement précoce, il peut être préférable d'attendre la fin de la fermentation alcoolique pour avoir des conditions plus propices à l'ensemencement bactérien.

25788_vins_blancs.indb 191 13-10-11 12:23 PM

15 Opérations postfermentaires

Le vin une fois produit reste un milieu complexe et fragile, car il n'est ni stable sur le plan microbiologique, ni sur le plan physico-chimique, ni encore sur le plan de sa susceptibilité à des oxydations ultérieures. Pendant la période située entre la fin des fermentations (alcoolique et éventuellement malolactique) et le conditionnement, il faut le préserver des déviations microbiennes potentielles incluant celles produites par des levures (re-fermentation des vins avec sucres, bactéries lactiques ou acétiques), et autres bactéries, mais aussi des déviations microbiennes (*Brettanomyces*) et enfin des déviations organoleptiques engendrées par des mécanismes d'oxydation ou de réduction. Enfin, une attention toute particulière doit être donnée à l'opération de mise, où l'influence prépondérante des gaz dissous peut entraîner ou non une conservation adéquate du vin jusqu'à sa consommation finale. C'est le sujet de ce chapitre de décrire les tenants et aboutissants de ces importantes opérations postfermentaires.

Élevage en cuve des vins blancs

Dans l'itinéraire d'élaboration d'un vin blanc, l'élevage couvre la période allant de la fin des processus fermentaires (fermentations alcooliques ou malolactiques, selon les cas) au conditionnement. La durée de cette étape est variable selon le type de vin élaboré : quelques semaines pour les vins à cycle court, une à deux années pour les vins à élevage dit « long ». Sur le plan pratique, l'élevage d'un vin blanc se déroule soit en cuves, soit en fûts.

Objectifs technologiques

Selon la catégorie de vin considérée, l'objectif technologique consiste à préserver et/ou exalter les qualités organoleptiques du vin, tout en recherchant sa stabilisation naturelle sur les plans microbiologiques et physico-chimiques.

L'élevage des vins blancs mis en marché rapidement reste minimaliste et se résume à une préservation de ses qualités organoleptiques postfermentaires, et tout particulièrement de leur caractère « fruité ». Plus que d'élevage, il convient de parler de conservation du vin.

Les autres vins blancs subissent une période d'élevage plus ou moins longue, au cours de laquelle une maturation des qualités organoleptiques des vins est recherchée. Pour cela, de plus en plus fréquemment, l'élevage du vin est conduit sur ses lies de vinification.

L'élevage constitue également une période de stabilisation du vin au cours de laquelle sa turbidité diminue du fait de la sédimentation des particules en suspension, résultant de mécanismes colloïdaux naturels. En fin de période, ceci peut être accéléré par l'ajout d'une colle protéique. Par ailleurs, sous réserve de veiller à maintenir une teneur en sulfites libres convenable, l'élevage vise à abaisser naturellement les populations de micro-organismes présentes dans le vin. Ces deux phénomènes naturels préparent le vin aux opérations préalables au conditionnement en facilitant, notamment grandement, la clarification par filtration.

25788_vins_blancs.indb 192 13-10-11 12:23 PM

Selon les besoins, l'élevage se conclut par des traitements spécifiques de stabilisation physico-chimique : prévention de la casse protéique par ajout de bentonite et des précipitations tartriques par un traitement adapté (passage au froid, électrodialyse, inhibiteurs de cristallisation), traitement de la couleur à l'aide de caséine ou de polyvinylpolypyrrolidone (PVPP).

Rôle des lies de vinification

Traditionnel dans certaines régions de production de vins blancs (Bourgogne, région nantaise), l'élevage en cuve des vins blancs en présence de ses lies de vinification s'est considérablement développé, suite à de nombreuses études démontrant son intérêt œnologique.

La présence de lies au contact du vin durant l'élevage se traduit par des phénomènes d'échanges lies/vin, dits d'autolyse des levures. Les cellules de levures mortes subissent une autodestruction enzymatique des parois se manifestant par une libération dans le milieu de constituants polysaccharidiques pariétaux. Ce phénomène s'observe en outre par une augmentation des composés azotés libérés dans les vins, notamment les acides aminés. L'autolyse des lies est un phénomène lent, ceci ne le rendant de fait pas toujours compatible avec les contraintes actuelles de mise en marché des vins.

Différents paramètres sont susceptibles d'amplifier ce phénomène : température, durée, agitation des lies, ajout d'enzymes…

Les conséquences œnologiques mises en évidence sur les caractéristiques physico-chimiques des vins blancs ainsi conservés sont multiples comparativement à des vins soutirés. Outre l'apport sensoriel mentionné régulièrement par les praticiens et vérifié par diverses expériences (Ferrari et Feuillat, 1988), plusieurs propriétés technologiques ont été attribuées aux lies. Citons entre autres : l'interaction des macromolécules levuriennes sur la stabilité (volatilité) des arômes contenus dans les vins (Lubbers *et al.*, 1994), la diminution de l'instabilité tartrique et protéique des vins (Gerbaud *et al.*, 1996 ; Moine-Ledoux, 1996), la protection contre l'oxydation par la capacité des lies à consommer de l'oxygène (Fornairon *et al.*, 1999) ou à préserver des teneurs plus élevées en glutathion (Lavigne *et al.*, 2003), et l'aptitude à fixer les composés soufrés légers mal odorants (Lavigne, 1996).

Une conséquence majeure d'un tel mode d'élevage est le maintien du vin dans une ambiance réductrice engendrée par la présence des lies et l'absence de soutirage. Ces conditions réductrices sont propices à la préservation du vin de l'oxydation et en particulier de ses éventuels thiols variétaux (*figure 4.22*). On peut également s'autoriser une conservation du vin en présence d'une quantité moindre de sulfites.

Sur le plan organoleptique, les vins élevés sur lies conservent plus longtemps leurs caractères de jeunesse, présentent une plus grande complexité et finesse olfactive ainsi qu'une plus grande richesse et persistance en bouche.

L'inconvénient majeur de cette pratique d'élevage réside dans le fait que la présence des lies est propice à l'apparition de défauts olfactifs liés à des phénomènes de réduction trop intensifs. En effet, selon les conditions, celles-ci génèrent des composés soufrés à odeurs désagréables, principalement de l'hydrogène sulfuré et du méthanethiol (Lavigne, 1996). Ceci survient durant les premières semaines suivant la fin de la fermentation alcoolique, de manière plus marquée dans les cuves de grande capacité. Les déviations microbiologiques et l'apparition de faux goûts dans le cas de vendanges altérées sont aussi mentionnées comme un inconvénient inhérent à l'élevage sur lies.

25788_vins_blancs.indb 193 13-10-11 12:23 PM

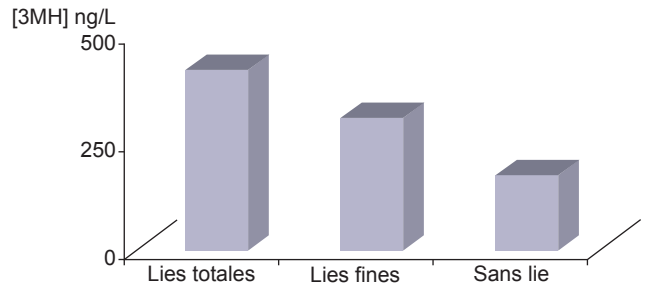


Figure 4.22 : Effet de l'élevage sur lies sur les teneurs en thiols variétaux (3-mercaptohexanol) dans des vins de Melon B (Schneider, 1998)

Mise en œuvre pratique

Il faut considérer ici deux cas : celui des vins à consommation rapide et celui des vins élevés sur lies.

Dans le cas des vins à consommation rapide, la période allant de la fin des processus fermentaires au conditionnement est d'habitude courte, aux alentours de quelques mois. Sitôt les fermentations achevées, un soutirage est généralement opéré. Excepté dans le cas d'un défaut sensoriel de type réduction, celui-ci s'effectue à l'abri de l'air pour éviter toute dissolution d'oxygène susceptible d'entraîner une oxydation des arômes. Les vins restent en l'état jusqu'aux opérations préparatoires à la mise : collage éventuel, traitement préventif contre les casses protéiques et tartriques. Bien que discutable sur le plan environnemental, la conservation de ces vins à température basse et constante (< 10 °C), grâce aux équipements de thermorégulation de la cuverie, est particulièrement utile pour préserver les arômes de type thiols variétaux (*figure 4.23*) et autres composés aromatiques formés lors de la fermentation (*figure 4.24*).

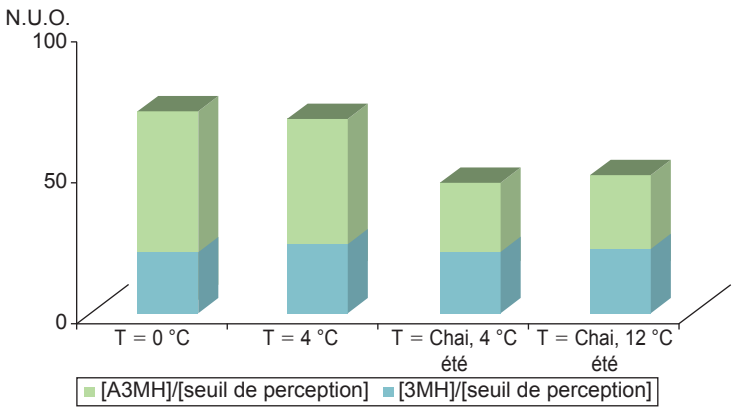


Figure 4.23 : Effet de la température de conservation sur les teneurs en thiols variétaux (exprimées en nombre d'unités d'odeur) de vins de Colombard (Davaux* et al.*, 1996)

25788_vins_blancs.indb 194 13-10-11 12:23 PM

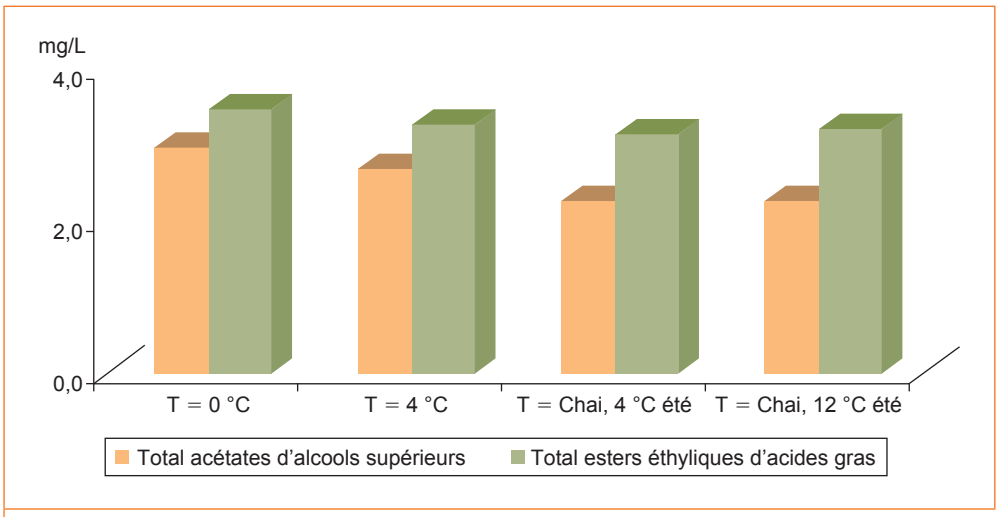


Figure 4.24 : Effet de la température de conservation sur les teneurs en acétates d'alcools supérieurs (acétate d'isoamyle, acétate d'hexyle et acétate de phényléthyle) et esters éthyliques d'acides gras (hexanoate d'éthyle, octanoate d'éthyle, décanoate d'éthyle et dodécanoate d'éthyle) de vins d'Ugni blanc (Davaux* et al.*, 1996)

Dans le cas des vins élevés sur lies, l'élevage sur lies ne se conçoit que dans la mesure où les vendanges ne sont pas altérées. Si tel est le cas, il est conseillé de procéder à un soutirage avec élimination des lies pour limiter le risque d'apparition de mauvais goûts. La pratique d'élevage sur lies vise à bénéficier de l'apport bénéfique des lies décrit précédemment tout en maîtrisant les risques d'apparition de défauts de réduction. À cet égard, les premières précautions sont à mettre en œuvre dès la vinification proprement dite. Dans le cas contraire, un vin réduit en fin de fermentation alcoolique imposera un soutirage avec aération dès l'achèvement de l'activité fermentaire, accompagné la plupart du temps d'une élimination totale et définitive de ses lies de vinification. Pour cela, plusieurs éléments doivent être maîtrisés, notamment le débourbage (pour atteindre une turbidité inférieure à 200 NTU), le sulfitage (5-6 g/hL maximum) et le choix de la levure de vinification.

Sur le plan opérationnel, en fin de fermentation alcoolique, plusieurs techniques sont susceptibles d'être mises en œuvre par le vinificateur pour effectuer un élevage sur lies en cuve. L'élevage sur lies totales avec absence de soutirage jusqu'aux opérations de filtration est le procédé le plus simple. Les vins sont alors refroidis. Le sulfitage de stabilisation est décalé de plusieurs jours après la fin de l'activité levurienne. Les phénomènes de réduction sont toujours latents avec ce procédé, et ils peuvent rendre une aération ou une élimination des lies par soutirage indispensable par la suite, durant les deux premiers mois d'élevage. L'élevage sur lies fines est dans bien des cas une alternative efficace, compromis entre élevage sur lies totales et élevage sans lies. En fin de fermentation alcoolique, les vins sont immédiatement transvasés et sulfités. Seule la fraction des lies agglutinée et fixée en fond de cuve est éliminée. Ce procédé suffit en général à prévenir l'apparition de tout défaut olfactif, tout en conservant une proportion significative de lies fines dans le vin.

La dernière technique envisageable, développée pour les vins issus du cépage Sauvignon (Lavigne, 1996), consiste à séparer momentanément les lies du vin clair quelques jours après la fin de la fermentation alcoolique. Ces lies sont élevées séparément avec agitation (et donc vraisemblablement introduction d'oxygène) en fûts, voire en cuves animées. Au bout de

25788_vins_blancs.indb 195 13-10-11 12:23 PM

quelques semaines, lorsque les lies ont perdu l'essentiel de leur aptitude à former des composés soufrés (confirmé par dégustation), elles sont alors susceptibles d'être réincorporées à leur vin d'origine.

En pratique, un vin élevé sur lies est toujours durant les premières semaines en situation d'équilibre instable « net/réduit ». Il nécessite donc un suivi gustatif régulier et le choix d'une méthode d'élevage adaptée à chaque situation. Aucune n'est gage absolu de réussite. Le choix doit intégrer la sensibilité intrinsèque du produit à la réduction : le cépage (par exemple, le Sauvignon est plus sensible que le Chardonnay), la composition du moût et la pratique de vinification (par exemple, risque accru avec un moût pauvre en azote assimilable et une vinification trop réductrice).

Quel que soit le procédé d'élevage sur lies retenues, l'intensité de l'autolyse des levures est modulable. Si une élévation de la température favorable à l'activité enzymatique présente des limites quant à la préservation des caractères organoleptiques du vin, l'accroissement de la durée d'élevage, l'emploi d'enzymes exogènes spécifiques (de type glucanases) et la remise en suspension des lies sont des actions efficaces pour l'amplification des phénomènes d'autolyse. Le brassage des lies est effectué dès la fin de la fermentation alcoolique, avant le tassement des lies en fond de cuve, au rythme d'une à deux fois par semaine, sur une période plus ou moins longue. Les vins sont ainsi significativement plus complexes, plus riches… En pratique, cette opération reste délicate à mettre en œuvre en cuve sans dissolution d'oxygène. Selon les vignobles, peuvent être utilisés des cuves spécifiques (rotatives, à pales), des brassages à la pompe ou au gaz, et même des ajouts de sticks de carboglace.

Élevage en barrique

L'élevage en barrique (ou en fût) des vins blancs est l'apanage des grands vins. La barrique, depuis son invention par les Gaulois pour le transport, a révélé son grand intérêt pour la vinification et son usage dans les régions viticoles qui ont acquis ainsi de grandes réputations internationales.

La spécificité du mode d'élevage traditionnel consiste à réaliser l'ensemble de la vinification en barrique : les moûts sont mis à fermenter en barrique et les vins correspondant demeurent dans la barrique pour leur élevage en présence de la totalité de la biomasse produite. Cette conduite de vinification empiriquement établie, fruit, sans doute, d'un long cheminement d'observations successives et de transmission de savoir-faire, a connu des périodes de déclin de son usage, en raison vraisemblablement de contraintes économiques, associées au développement des mises en bouteilles dans la zone de production, et du transport du vin en citerne, faisant perdre à la barrique son rôle dans les expéditions. L'examen de l'évolution de la période de récession de l'utilisation de la barrique de la Seconde Guerre mondiale aux années 1970, a fait prendre conscience au monde professionnel des risques encourus par la perte de ce patrimoine de savoir-faire valorisant à bien des égards. Il s'en est suivi une intense période d'investissement de recherches et d'expérimentations tentant d'apporter, en particulier, des arguments explicatifs à la pratique ancestrale. Les acquis des plus déterminants ont été obtenus spécifiquement sur la connaissance du bois de chêne et sur les rôles des lies de levures. Diverses variantes expérimentales, dérivant du schéma de la pratique traditionnelle, testées certainement par souci de simplification de gestion des différentes opérations techniques, ont mis en évidence que l'élevage sous bois des vins blancs est indissociable de la présence des lies de levures soit des lies totales ou tout moins des « lies fines » ; par ailleurs, celles-ci n'ont pu remettre en cause le bien fondé de l'étape de fermentation en barrique, tout en montrant

25788_vins_blancs.indb 196 13-10-11 12:23 PM

son importance et son intérêt pour l'élaboration de vins blancs de garde. Elle est devenue une référence de développement pour le haut de gamme des vins blancs. Dans le contexte international du marché du vin, schématiquement trois situations distinctes peuvent être décrites. Les exploitations viticoles en situation de grands crus, de dénominations clos, château… ont su perpétuer la tradition et codifier les gestes du travail du vin qui ont traversé les siècles sans changement notoire, ce faisant celles-ci ont conforté leur position internationale des vins des plus réputés et recherchés par les grands connaisseurs. Cette pratique a été introduite, pour une part variable de la production selon les stratégies commerciales des entreprises vinicoles, dans les secteurs d'activités viticoles animés par la volonté d'exprimer au mieux les efforts de restructuration réalisés au vignoble, ainsi que dans le cas d'implantation de nouveaux vignobles à base de « cépages internationaux ». Enfin, celle-ci, s'est répandue dans les nouveaux pays viticoles sous l'impulsion des sociétés multinationales où cette technologie est exploitée à des fins de valorisation de leur image de marque, au travers de la production de leurs vins haut de gamme. De sorte que l'élevage des blancs en barrique, bien que minoritaire dans la production des vins blancs, se retrouve dans la plupart des vignobles du monde.

Les vins blancs élaborés de la sorte sont reconnus de haute expression ; ils allient simultanément les attributs du bois et les meilleurs effets de l'activité microbienne qui sont en interactions tout au long du processus.

Rôle du bois de chêne

Le bois de chêne utilisé en tonnellerie correspond au duramen ou « bois de cœur », zone de cellules mortes à la suite du phénomène de duraminisation distincte de l'aubier qui est sur l'arbre la partie physiologique fonctionnelle. La duraminisation confère au bois ses propriétés œnologiques : thyllose (ou formation d'excroissance dans les anciens vaisseaux conducteurs de sève) qui assure l'imperméabilité au liquide, microposité qui conditionne les échanges gazeux, et extractibles du bois, qui sont les constituants du bois susceptibles de diffuser dans les liquides au contact du bois.

La duraminisation conditionne la composition chimique du bois de chêne utilisé dans l'élevage des vins et la maturation des eaux-de-vie. Le duramen est composé d'un point de vue chimique des constituants de la paroi des cellules du bois, des substances d'imprégnation biosynthétisées lors de la duraminisation, et des résidus des métabolites cellulaires restés après la mort des cellules. La nature chimique des constituants du bois de chêne est, donc, très variée. Les constituants chimiques du bois sont habituellement subdivisés en deux types de molécules : les macromolécules constitutives de la paroi cellulaire et les composés dits extractibles.

Les parois cellulaires étant secondarisées, elles se distinguent par la présence de lignine et par une forte proportion de cellulose sous forme microcristalline. Du fait de la constitution du bois de cœur, il est normal que les macromolécules pariétales dominent quantitativement, de sorte que le bois de chêne est proportionnellement riche en cellulose (de 40 à 45 % de la masse totale), en hémicelluloses (20 à 25 %) et en lignine (25 à 30 %). Le bois renferme un certain nombre de composés communs à tout produit issu de la matière végétale : acides aminés, oses simples (Viriot, 1995), acides gras (Nishimura *et al.*, 1983), hydrocarbures (Wiessman *et al.*, 1989), composés terpéniques (Nabeta *et al.*, 1986), caroténoïdes (Masson *et al.*, 1997), divers minéraux (Masson *et al.*, 1996). Cependant, les composés organiques extractibles les plus représentatifs du bois de chêne appartiennent à la famille des composés phénoliques : lignanes, coumarines, acides phénols et tanins. L'ensemble représente 5 à 10 % du bois sec.

La composition du bois de chêne se caractérise par son contenu en tanins et en substances odorantes.

25788_vins_blancs.indb 197 13-10-11 12:23 PM

Composition chimique du bois de chêne

SUBSTANCES SAPIDES

Tanins du chêne

Les tanins du bois de chênes sont des ellagitanins, ceux-ci ont été largement décrits depuis les travaux de Mayer *et al.* (1967). Huit structures moléculaires distinctes ont été identifiées : castalagine, grandinine, roburine A, B, C, D et E (Hervé de Penhoat *et al.*, 1991). Les roburines semblent être caractéristiques du chêne : la castalagine et son isomère, la vescalagine, sont les structures les plus abondamment représentées. Aux côtés de ces ellagitanins individualisés, facilement extractibles par les solutions hydroalcooliques (Moutounet *et al.*, 1989) coexistent d'autres structures moléculaires qui libèrent de l'acide ellagique par hydrolyse et, à ce titre, peuvent être considérées comme des ellagitanins, bien que cette attribution n'ait pas reçu d'autres arguments analytiques. On postule que ce sont des structures polymériques formées par voie oxydative durant le vieillissement du bois sur pied. Il est à noter que ces ellagitanins à l'état polymérique sont quantitativement plus abondants dans le bois de chêne que la somme des huit ellagitanins à structures définies. L'appréciation de l'incidence technologique ou organoleptique des tanins du chêne ne peut donc se réduire à la seule analyse des huit ellagitanins de structures connues.

Quercotriterpénosides

De nouvelles substances de la famille des triterpènes ont été récemment identifiées. Il s'agit d'une série d'isomères galloylés et glycosylés dénommés quercotriterpénosides (QTT I, II, II...). Certains de ces isomères contribuent directement ou indirectement à la perception de la « sucrosité » des vins (Marchal *et al.*, 2011). Cette découverte éclaire sous un jour nouveau les potentialités du bois de chêne à l'élevage des vins en barrique.

Lignanes

Le lyonirésinol, signalé dans les vins au contact du bois de chêne par Moutounet *et al.* (1989), serait le constituant du bois de chêne susceptible de communiquer de l'amertume pour seulement des concentrations de quelques milligrammes (Marchal *et al.*, 2011). Cet auteur a également montré l'effet de masquage de quercotriterpénosides sur l'amertume conférée par le lyonirésinol.

Substances odorantes

Le bois de chêne renferme de nombreux composés volatils, très variés dans leur nature chimique et leur origine ; plus d'une centaine de substances ont été répertoriées. La *cis*-(3S, 4S) et la (*trans*)-(3S, 4R)-β-méthyl-γ-octalactone sont les molécules odorantes les plus spécifiques du bois de chêne, tant est si bien qu'elles ont reçu les noms triviaux de *oak lactone* et de *whisky lactone*. L'isomère cis est le plus odorant et son seuil de perception est le plus faible ; il a une odeur caractéristique de noix de coco tandis que l'isomère trans dégage une perception olfactive plus diffuse rappelant aussi le céleri. Leurs teneurs, qui peuvent atteindre une centaine de microgrammes par gramme de bois sec, sont significativement les plus élevées dans les bois de chêne américains dont la proportion d'isomères cis est toujours voisine de 90 %. Les bois de chêne pédonculé renferment en général des quantités de β-méthyl-γ-octalactone faibles ou peuvent même en être dépourvus. Les bois de chêne rouvre sont généralement riches, mais dans quelques cas présentent des teneurs aussi faibles que celles du bois de chêne pédonculé (Masson *et al.*, 1995). La variabilité du rapport cis/trans est, en revanche, élevée dans les bois de

25788_vins_blancs.indb 198 13-10-11 12:23 PM

chêne européens. L'isomère cis ayant un seuil de détection olfactif beaucoup plus bas, les bois renfermant une forte proportion d'isomères cis possèdent un pouvoir odorant potentiellement supérieur. L'existence dans le bois de précurseurs de ces substances explique les teneurs plus élevées mentionnées dans les bois après le séchage sur parc par rapport au bois frais (Masson *et al.*, 2000) et, en particulier, l'évolution des formes odorantes au cours de l'élevage à la suite de la lente hydrolyse des précurseurs.

D'autres molécules interviennent sur la perception aromatique du bois de chêne. L'eugénol, responsable de l'arôme de clou de girofle, est contrairement aux autres substances odorantes en concentration plus élevée dans l'aubier comparativement au bois de cœur. La vanilline (4-hydroxy-3-méthoxy benzaldéhyde) bien connue pour son odeur de vanille est, d'un point de vue aromatique, un constituant important du bois de chêne ; sa présence en quantité suffisante peut communiquer au bois des odeurs qualifiées de « pâtisserie », de « pain grillé ». Les norisoprénoïdes doivent aussi intervenir dans la perception olfactive du bois ; ils sont issus des caroténoïdes.

Tous les constituants odorants du bois ne jouent pas un rôle positif sur sa qualité aromatique. Parmi les attributs négatifs qui peuvent être communiqués aux vins, les substances responsables de l'odeur de « planche » ont été déterminées (Boidron *et al.*, 1988) : le (E)-2-nonénal est la principale substance incriminée ; d'autres molécules ont été associées au caractère « planche », il s'agit du (*E*)-2-octénal et du décanal. Ces auteurs attribuent au 3-octène-1-one des odeurs de moisi. L'analyse olfactométrique a permis à Masson (1996) de repérer une zone à dominante « herbacée-végétale » qui pourrait être en relation avec l'identification du 4-nonanol. L'altération du bois à la suite d'attaques d'insectes ou du développement de micro-organismes peut être à l'origine d'odeurs étrangères ; Masson (1996) a signalé une odeur d'olive qui correspond à la présence de l'acide cyclohexane carboxylique. Ces altérations aromatiques sont toutefois très peu fréquentes.

En ce qui concerne la composition du bois de chêne, il est très essentiel de noter qu'il existe une très grande variabilité en fonction de l'espèce et de l'origine géographique. À l'échelle de l'arbre, la hauteur, l'orientation et l'âge sont autant de facteurs influençant la composition chimique du bois. Par ailleurs, la répartition des divers constituants du bois de chêne n'est pas homogène dans les différents tissus du bois.

Influence des thermotraitements

Les thermotraitements qui sont appliqués au bois au cours des opérations de cintrage et de « chauffes » sont une source de modifications profondes dans la composition en extractibles.

Les ellagitanins sont des composés thermosensibles, aussi, près de 75 % de la vescalagine et 25 % de la castalagine sont dégradées par voie pyrolytique dans la couche superficielle des douelles durant le cintrage ; ces constituants peuvent même disparaître dans les deux premiers millimètres lors de l'application d'une « chauffe forte ». D'autres constituants sont affectés en fonction du niveau de température atteint ou de la durée de son application. Par exemple, les thermotraitements réduisent notablement la présence de molécules responsables du caractère « planche » (Chatonnet et Dubourdieu, 1998).

Les thermotraitements se caractérisent par la formation d'un grand nombre de substances susceptibles d'influencer les qualités organoleptiques des vins. Les transformations chimiques du bois ont pour origine essentielle l'effet pyrolytique des thermotraitements sur les constituants pariétaux du bois : lignine et hémicellulose, la cellulose microcristalline n'étant pratiquement pas affectée. La présence de groupements acétylés sur les chaînes glucuronoxylanes

25788_vins_blancs.indb 199 13-10-11 12:23 PM

(hémicellulose) conduit à la production d'acide acétique qui peut contribuer à augmenter l'acidité volatile des vins.

Parmi les substances volatiles, les aldéhydes phénoliques et furanniques sont les plus abondamment formées. La néoformation de la vanilline a été la plus étudiée ; elle contribue à intensifier fortement les notes « pâtisserie »-« viennoiserie » de l'analyse sensorielle. Par ailleurs on attribue aux phénols volatils (gaïacol, 4-méthyl-gaïacol, syringol), le caractère épicé communiqué par le bois tandis que les nombreux composés furannes, générés aux températures les plus élevées, seraient plutôt responsables des odeurs de fumées. La synthèse thermique des furannes demande l'intervention de composés azotés du bois ; il en est de même des molécules à odeur de caramel et révélant des notes grillées (maltol, cyclotène, dihydromaltol, furanéol) (Cutzach *et al.*, 1997).

Ajoutons que les thermotraitements nécessaires au cintrage ou les opérations de chauffe ou de grillage sont susceptibles de modifier l'organisation ultrastructurale du bois favorisant ainsi l'accessibilité des milieux hydroalcooliques aux sites d'extraction (Rabier et Moutounet, 1991).

Échanges gazeux

Au cours de la duraminisation, à la mort des cellules, le contenu cellulaire des parenchymes a laissé place à un vide circonscrit par les parois cellulaires. Ces vides, auxquels s'ajoutent ceux des vaisseaux préalablement établis et limités par la présence des thylles, constituent la porosité du bois. Le bois de tonnellerie (duramen) est constitué essentiellement d'un squelette de matière correspondant aux parois cellulaires délimitant des cavités (lumens des différentes cellules). En raison de la complexité de l'organisation des différents tissus dans les trois dimensions de l'espace et de la nature des substances chimiques constituant les parois, le bois de chêne est un matériau poreux, hétérogène, fortement anisotrope, d'une part, et hygroscopique, d'autre part.

Ces propriétés conduisent à observer lors du logement des vins en barriques une imprégnation par le vin des couches superficielles des douelles, et une perte en volume de vin, c'est la consume. La structure microporeuse du bois explique les pertes en volume de vin durant le logement en barrique par l'imprégnation des couches superficielles et, d'autre part, par l'évaporation due à l'établissement d'un gradient d'humidité au travers de l'ensemble des douelles. Cette « consume », qui nécessite l'opération de ouillage, engendre selon les chais des pertes de 2-3 à 5-7 % par an, les frais de main-d'œuvre et les pertes de vin pouvant représenter une part décisive du coût de l'élevage en barrique, comparativement à l'élevage en cuve.

La partie du vin qui imprègne les couches superficielles de la face interne des douelles est donc au contact avec l'air au sein de la microposité du bois ; il s'ensuit la diffusion de l'oxygène et des oxydations subséquentes des constituants présents du vin, ainsi que des extractibles du bois au premier rang desquels figurent les tanins. L'évaporation, se développant de l'intérieur vers l'extérieur de la barrique sous la dépendance du gradient d'humidité en fonction de l'atmosphère des chais, engendre une surface de vin qui se trouve au contact d'un espace gazeux renfermant de l'oxygène (Moutounet *et al.*, 1998). L'importance de cette surface dépend de l'intensité de l'évaporation et de la périodicité du ouillage et est, en conséquence, une autre source d'enrichissement en oxygène. Les réactions enclenchées aux interfaces vin/air (ou espace gazeux renfermant une proportion d'oxygène variée), que ce soit à la surface du vin, au sommet de la barrique, ou dans l'épaisseur des douelles, se propagent par potentiel chimique pour gagner par un long processus l'ensemble du vin, système qui s'homogénéise lors du « bâtonnage » (*cf.* p. 204). Lorsque le trou de bonde est hermétiquement obturé, avec une bonde silicone serrée par exemple, l'évaporation n'est plus compensée avec la même cinétique par une entrée

25788_vins_blancs.indb 200 13-10-11 12:23 PM

d'air, il s'ensuit l'établissement d'une pression interne inférieure à la pression atmosphérique ; cette dépression est suffisante pour entraîner des microdéformations de la barrique. Les fonds en leur partie supérieure rentrent sur quelques millimètres, conduisant à la réduction du volume, celui-ci se rétablissant à l'ouverture par retrait de la bonde ; l'observation de l'évolution du volume du creux permet d'espacer les ouillages, de réduire les pertes de vins et de gérer l'intensité des phénomènes d'oxydation par l'intermédiaire du rapport de surface vin : espace gazeux du « creux » (Moutounet *et al.*, 1998).

Rôle des lies

À la suite de l'achèvement de l'activité fermentaire, les micro-organismes ayant perdu leur capacité fermentaire sont le siège, tant au niveau des endostructures cellulaires, des constituants cytoplasmiques que des enveloppes cellulaires, de nombreuses transformations dont la caractéristique est d'avoir des pas de temps très longs s'échelonnant sur plusieurs mois, voire plusieurs années dans le cas spécifique des effervescents de longues gardes sur lattes. Les phénomènes biochimiques liés au processus d'autolyse entraînent le relargage de diverses fractions moléculaires qui engendrent de nombreuses modifications physico-chimiques qui vont avoir une incidence qualitative sur les vins placés au contact des lies.

Autolyse des levures

CONSTITUTION DES LIES ET AUTOLYSE LEVURIENNE

Les lies de vins, qui représentent 2 à 4 % du volume de vin, sont constituées de 30 à 45 % de poids sec par les micro-organismes (Renouil et Ferret, 1998). Les principales espèces restent majoritairement les levures ayant réalisé la fermentation alcoolique, et également des bactéries si la fermentation malolactique a eu lieu. Les *S. cerevisiae* sont majoritairement représentées même si d'autres espèces non-*Saccharomyces* peuvent être rencontrées.

L'autolyse naturelle correspond à un ensemble de processus, induit par la mort cellulaire, qui prennent place lorsque les levures, après leur activité fermentaire, ont perdu leur capacité à se multiplier. Il est admis que le phénomène autolytique est précédé par une phase d'activation qui correspond à une désorganisation des endostructures cellulaires (membrane cytoplasmique et lysosome) et à la libération subséquente d'enzymes lytiques dont l'inhibition est parallèlement levée. Ces actions enzymatiques agissent sur les constituants intracellulaires (protéines, acides nucléiques, lipides…) amenant à une accumulation des produits du catabolisme dans l'espace périplasmique défini par la paroi de la levure. La masse moléculaire diminuant, associé à la dégradation des constituants pariétaux, s'enchaîne ainsi la diffusion dans le milieu extracellulaire environnant des produits de l'autolyse. La protéolyse, la dégradation des parois cellulaires et la formation des substances volatiles caractérisent l'autolyse levurienne d'un point de vue œnologique (Feuillat, 1998).

D'une manière générale, l'autolyse est favorisée par l'élévation de température, les faibles teneurs en éthanol, le pH du vin n'étant pas le plus favorable.

SUBSTANCES RELARGUÉES

Protéolyse, substances azotées et sucrosité

La protéolyse est la conséquence quantitativement la plus manifeste de l'autolyse ; elle est à l'origine de l'enrichissement en composés azotés, protéines, peptides, oligopeptides, acides

25788_vins_blancs.indb 201 13-10-11 12:23 PM

aminés. Bien que *S. cerevisiae* possède un arsenal protéasique diversifié susceptible d'intervenir, la protéase a joué, en milieu œnologique, un rôle primordial dans la libération d'un très grand nombre de peptides (Feuillat, 1998). Ces activités protéasiques perdurent pendant les longs mois d'élevage (Ferrari et Feuillat, 1988). Leurs intensités varient de façon prononcée en fonction de la souche de levure. Les acides aminés se retrouvant dans les vins restés au contact des lies concernent d'abord ceux stockés dans la vacuole pendant la fermentation alcoolique qui diffusent de façon passive après que les cellules dégénèrent. À la suite d'une période de latence on assiste à un nouveau relargage dans le vin d'acides aminés. Les modifications hydrolytiques se poursuivent à la faveur de la présence de protéases et de peptidases elles-mêmes relarguées dans le vin.

Parmi les peptides issus de l'autolyse, l'un d'entre eux a été identifié comme responsable du gain de sucrosité (Marchal *et al.*, 2010). Ce peptide sucrant provient de la protéolyse de la protéine de choc thermique membranaire Hsp 12 ; il peut à son tour être l'objet de la poursuite de l'hydrolyse lui faisant perdre ses propriétés gustatives. Ces travaux remarquables présentent une avancée déterminante dans la compréhension du rôle organoleptique conféré par les lies.

Bien que sa présence ne soit pas liée à la protéolyse signalons, dans ce paragraphe, le relargage du glutathion à partir des lies de levures ; c'est un tripeptide qui participe au maintien de l'équilibre d'oxydoréduction des cellules. Dans le moût, il a la propriété de « piéger » les quinones produites par action des polyphénoloxydases du raisin (Cheynier *et al.*, 1990). Dans les vins, le glutathion prévient des effets de l'oxydation et au cours de l'élevage en barriques, il a été déterminé que la présence des lies préserve les arômes fruités du Sauvignon (Lavigne-Cruège *et al.*, 2003). Après huit mois d'élevage, les thiols variétaux ont plus fortement diminué dans les barriques sans lies qu'en leur présence. Comme la teneur en glutathion suit des évolutions similaires, les auteurs attribuent au glutathion l'effet constaté. Le glutathion interviendrait soit en réduisant les disulfures à couples oxydo-réducteur supérieurs à celui du glutathion, soit en piégeant préférentiellement les quinones protégeant ainsi les « thiols variétaux ». Le premier mode réactionnel n'a pas reçu d'arguments scientifiques attestant de son fonctionnement dans les vins, le second étudié en solution modèle laisse augurer de son existence dans les vins (Nikolantonaki *et al.*, 2009).

Polysaccharides

La paroi de levure est essentiellement constituée de polysaccharides. Il s'agit en résumé de mannoprotéines, de glucanes ramifiés aux β-(1,6)-glucanes et de chitine (polymère de N-acétyl-glucosamine). Les β-(1,3)-glucanes, la chitine et les manoprotéines sont liés de manière covalente aux β-(1,6)-glucanes. Les mannoprotéines sont constituées d'une portion protéique minoritaire représentant moins de 5 à 20 % de la masse de la molécule. Sur cette chaîne protéique sont fixées de longues chaînes de D-mannose liées en α-(1,6) portant des ramifications en α-(1,2) et α-(1,3) mais aussi de nombreuses petites chaînes de 1 à 4 résidus de D-mannose liés en α-(1,2) ou α-(1,3). Les mannoprotéines sont reliées à de longues chaînes de β-(1,3)-glucanes par l'intermédiaire de courtes chaînes de β-(1,6)-glucanes. La fixation des mannoprotéines sur les β-(1,6)-glucanes se fait par l'intermédiaire d'un glycosylphosphate contenant des résidus de α-D-mannose.

Les polysaccharides font partie des constituants majeurs libérés par l'autolyse. Pendant l'autolyse, des peptido-glucomannanes (regroupés sous le vocable général de mannoprotéines) passent dans le vin, ces structures polysaccharidiques s'ajoutent à celles libérées au moment de la fermentation alcoolique lors de l'édification de la paroi. La libération à partir des lies se fait sous la dépendance d'activités β-glucanases. Ce sont les mannoprotéines qui sont majoritairement représentées ; elles constituent, toutefois, un ensemble très polydisperse de masses

25788_vins_blancs.indb 202 13-10-11 12:23 PM

molaires centrées entre 100 000 et 300 000 g.mol^{-1} environ et de proportion en oses constitutifs pour lequel le mannose domine toujours largement par rapport au glucose. Cette libération dans le vin est progressive et linéaire pendant vingt-quatre mois (Vuchot, 1998) ; elle est due à l'action de β(1-3) glucanases localisées au niveau de la paroi sur les glucanes auxquels sont liés de façon covalente les manoprotéines au sein de la paroi (Feuillat *et al.*, 1989). À la suite de la diffusion de glucanases dans le vin, des modifications structurales se produisent au niveau des polysaccharides préalablement solubilisés. Ces mécanismes, pour lesquels les glucanases jouent un rôle central aux côtés d'α-mannosidases, conduisent à l'apparition, au printemps qui suit la fermentation alcoolique, de fractions de mannoprotéines de masse moléculaires centrées vers 30-40 000 g.mol^{-1} qui recèlent des propriétés inhibitrices vis-à-vis des troubles protéiques et de la formation de cristaux d'hydrogénotratrate de potassium.

Les quantités de polysaccharides relargués durant l'autolyse citées dans la littérature sont très variables, cela tient pour partie aux différentes méthodes analytiques utilisées. Néanmoins, la souche de levure, en particulier, l'agitation et la température ont une influence.

Substances volatiles

À la suite de travaux en vin modèle, il est probable que les lies en condition d'autolyse aient capacité à enrichir les vins de nombreux composés volatils potentiellement aromatiques compte tenu des concentrations annoncées et de leurs seuils de perception envisagés. Les composés formés lors de la conservation de solutions hydroalcooliques de lies de levures sont à la fois nombreux et variés. On y trouve cité un grand nombre d'esters éthyliques d'acides gras, d'alcools supérieurs, ainsi que les aldéhydes correspondants, mais aussi des alcools terpéniques (α terpinéol, citronellol, géraniol, farnésol), des lactones dont α-décalactone à odeur de pêche, liste à laquelle a été ajouté le vitispirane à odeur de camphre, d'eucalyptus.

Acides gras

La fraction lipidique, bien qu'elle ne représente qu'une faible proportion dans la constitution des levures, est à l'origine de l'enrichissement de vins en lipide, au cours de l'autolyse. Celui-ci reste tout de même faible et circonscrit pour l'essentiel aux acides palmitiques, stéarique et palmitoléique. À côté de ces acides gras, les résultats sur la fraction lipidique obtenus en modèles d'autolyse pourraient laisser présager la présence, dans les vins élevés sur lies, de triglycérides et de stérols. Ces constituants lipidiques ne peuvent se trouver qu'en très faibles quantités, et peuvent être réadsorbés par les lies (Ferrari et Feuillat, 1988) ou dégradés par des lipases (Hernawan et Fleet, 1995). En dépit de ces faibles concentrations, ils peuvent être impliqués dans la formation de composés volatils odorants sous l'action de radicaux oxygénés produits dans les phénomènes d'oxydation dus à la présence d'oxygène dissous.

Propriétés d'interactions physico-chimiques des lies

Les effets d'interactions physico-chimiques s'exercent à partir des parois des levures ou par l'intermédiaire des mannoprotéines.

ADSORPTION DES THIOLS PAR LES PAROIS DES LIES DE LEVURE

Les lies ont la capacité d'interagir avec les thiols volatils à odeur nauséabonde de « réduit ». L'introduction de lies fraîches ou de parois de levures dans des solutions renfermant du méthanethiol et de l'éthanethiol élimine ces composés. Il a été suggéré que cette élimination soit due à la création de ponts disulfures entre la cystéine constitutive des mannoprotéines localisées dans la couche externe de la paroi de levure et les groupements sulfhydriles des thiols volatils (Lavigne et Duboudieu, 1996).

25788_vins_blancs.indb 203 13-10-11 12:23 PM

PRÉVENTION DU « PINKING »

Le rosissement de vins blancs peut survenir lors de traitements au conditionnement des vins issus de moûts soigneusement protégés de l'oxydation durant leur élaboration. Les risques d'apparition de cet accident diminuent avec la présence de lies, surtout sur lies totales. Les lies auraient donc la capacité à éliminer les molécules responsables du rosissement.

INTERACTIONS PHYSICO-CHIMIQUES MANNOPROTÉINES/COMPOSÉS D'ARÔMES

La présence de mannoprotéines change la volatilité à l'équilibre de composés d'arômes ; les plus apolaires sont préférentiellement fixés (Lubbers *et al.*, 1994). Ces interactions seraient de nature à expliquer la persistance et la longueur en bouche des vins élevés sur lies au moment de la dégustation.

INTERACTIONS PHYSICO-CHIMIQUES LIES/POLYPHÉNOLS

L'indice de polyphénols totaux et l'absorbance à 420 nm du vin diminuent tout au long de son élevage sur lies en barriques ; la couleur jaune d'un vin élevé sur lies totales est plus faible que celle du même vin en cuve avec ses lies fines. Ces évolutions sont attribuées à la capacité des polysaccharides libérés, ou encore demeurés dans la paroi, à interagir avec les composés phénoliques des vins blancs (Chatonnet *et al.*, 1992). Ce même type d'interaction a lieu avec les ellagitanins du bois de chêne ; une partie des tanins cédés par le bois se fixe sur les parois de levures et se retrouve avec lies au fond des barriques limitant leur présence dans les vins blancs élevés sous bois (Moutounet *et al.*, 1992).

Consommation d'oxygène par les lies

Il a été observé que la mesure de la consommation d'oxygène d'un vin turbide sous agitation était significativement et systématiquement supérieure au même échantillon clarifié. Cette différence a été attribuée à l'action des lies de levures, et il a été démontré que les lies de levure en situation postfermentaire ont capacité à consommer l'oxygène dissous (Fornairon-Bonnefond, 2000). Cette propriété spécifique est observée aussi bien sur des lies de levures de vinification restées au contact du vin après la fin de la fermentation alcoolique dans les conditions classiques de l'élevage en présence de lies, qu'à partir de milieux de cultures synthétiques modèles à l'échelle du laboratoire. Elle est dépendante des souches de levures. La nature des moûts mis en fermentation n'a, en revanche, aucune influence sur les niveaux de consommation (Fornairon-Bonnefond, 2000). La capacité à consommer de l'oxygène n'est pas due à une rémanence de la viabilité cellulaire ; elle perdure des mois pendant toute la durée de l'élevage en barrique, bien que celle-ci s'amenuise au cours du temps et pourrait donc devenir progressivement moins efficace vis-à-vis de la protection contre les phénomènes d'oxydation des constituants du vin. Les fractions des stérols sont plus spécifiquement ciblées pour être responsable de la réaction avec l'oxygène (Fornairon-Bonnefond *et al.*, 2003). La consommation d'oxygène par les lies n'affecte apparent pas les processus d'autolyse. La vitesse de consommation de l'oxygène d'une population de 109 cellules est en moyenne comprise entre 5 et 10 $\mu g.h^{-1}$. Celle-ci est supérieure à celle attribuable aux constituants chimiques du vin, de sorte que, en présence d'oxygène environnant, la compétition en termes de vitesse est en faveur des lies. En conséquence, celle-ci a une forte tendance à protéger les vins de l'oxydation. Lorsque les lies sont en suspension, l'effet concerne alors la totalité de la masse du vin ; c'est l'effet antioxydant dû au « bâtonnage ». Aux températures d'élevage, on estime que la totalité de l'oxygène qui peut être dissous jusqu'à l'équilibre de saturation par rapport à l'air, est consommée grâce à la présence des lies en suspension, en l'espace de 10 à 20 heures, pour une population d'environ $10^{11}.L^{-1}$ cellules.

25788_vins_blancs.indb 204 13-10-11 12:23 PM

Interrelations bois/levures au cours de l'élevage sous bois

Incidence de la fermentation alcoolique et malolactique

L'élevage des vins blancs en barrique conduit, dans sa pratique traditionnelle à effectuer la fermentation alcoolique en barrique. Pendant le déroulement de celle-ci, les constituants du bois commencent à diffuser ; parmi les composés d'arômes cédés par le bois, susceptibles d'avoir un impact sensoriel, les méthyl-octalactones ne semblent pas être affectées, de même que l'eugénol. En revanche, la vanilline et les dérivés furanniques, dont les teneurs dépendent notamment de l'intensité du brûlage lors de la « chauffe » des barriques, peuvent être l'objet de réactions de réduction en alcools correspondants, par action des levures et des bactéries lactiques. Les teneurs en ces constituants s'en trouvent réduites, ainsi les vins blancs fermentés sous bois se caractérisent par la perception des notes boisées moins intenses, plus fondues (Chatonnet *et al.*, 1992).

En cours de fermentation, les levures forment à partir du furfural, provenant de la surface interne des barriques en particulier de chauffes fortes, du furylthiol à odeur caractéristique de café (Tominaga, *et al.*, 2000).

Les bactéries lactiques, surtout *Oencoccus oeni*, possèdent des activités glycosidasiques qui sont exprimées à l'encontre de précurseurs aromatiques du chêne pour libérer dans le milieu de la vanille, des méthyloctalactones, de l'eugénol et isoeugénol dont l'augmentation dépend de la souche et de la composition de la copule osidique des précurseurs (Bloem *et al.*, 2008). Cette action de la fermentation malolactique peut se révéler d'un grand intérêt quant à la contribution de la cis-méthyl-octalactone à l'arôme du vin. Ce devrait être a priori moins le cas en ce qui concerne la vanilline, compte tenu de la proportion provenant de la dégradation de la lignine au moment du thermoformage et des « chauffes » de la barrique. Ces activités hydrolytiques pourraient aussi s'exercer sur d'autres glycoconjugés comme le réalise la levure sur les précurseurs terpéniques ou potentiellement sur les quercotriterpénosides pouvant ainsi moduler l'impression de sucrosité.

Pouvoir réducteur des lies et redox en barrique

Il est attribué aux lies un pouvoir réducteur qui est tout simplement mis en évidence par la lecture de la réponse d'une électrode de platine, rendant compte du niveau redox, plongée dans des lies. Il est fort probable aussi que la capacité des lies à consommer l'oxygène dissous soit partie prenante pour interpréter, même partiellement, ce constat. Le pouvoir réducteur des lies est associé au développement d'odeurs nauséabondes, appelées « odeurs de réduction ou odeurs de réduit ». Les principaux composés incriminés sont, dans le cas des lies, l'H_2S, le méthanethiol et l'éthanethiol. Ces molécules très volatiles sont par ailleurs très oxydables comme le sont les composés à fonction thiol. Il est bien connu que ces odeurs se développent d'autant plus que les lies se trouvent à l'abri de l'oxygène lors d'un séjour en situation de grandes cuves dont la hauteur maintient les lies sous une pression hydrostatique favorable à leur formation (Lavigne, 1996). Un sulfitage mal ciblé, notamment tant que les lies conservent une activité sulfito-réductase, est aussi une condition propice à l'apparition de ces mauvaises odeurs (Lavigne, 1996). En revanche, au cours de l'élevage sur biomasse totale en barrique selon la pratique traditionnelle, il est rare que des défauts de réduction apparaissent. Au contraire, un vin blanc mis en barrique après séparation de ses lies, perd rapidement son caractère fruité et développe des odeurs caractéristiques d'oxydation prématurée. Les échanges gazeux régulés par le fonctionnement de la barrique permettent un apport minimal d'oxygène, autorisant la présence des lies durant l'élevage afin de bénéficier des atouts de l'autolyse.

25788_vins_blancs.indb 205 13-10-11 12:23 PM

Le niveau redox d'un vin blanc en barrique est plus élevé qu'en cuve, à condition toutefois que le volume de cette dernière soit plus grand. À l'intérieur de la barrique, le potentiel diminue avec la profondeur et au fur et à mesure que l'on se rapproche des lies. Le « bâtonnage » permet, d'une part, une homogénéisation du potentiel d'oxydoréduction et, d'autre part, une dissolution d'oxygène à la surface. Celle-ci doit augmenter le niveau rédox global du vin. Par la suite, à l'issue du « bâtonnage », l'oxygène dissous diminue progressivement, consommé préférentiellement par les lies jusqu'à ce qu'elles regagnent le fond de la barrique. Ainsi, la réduction excessive des lies est empêchée, tandis que l'oxydation des constituants du vin, à l'interface vin/espace gazeux du « creux » de la barrique, est bien plus faible. C'est un système en rééquilibrage successif, modulé par périodicité des ouillages et fonction de l'efficacité « bâtonnages » à mettre les lies en suspension. Dans la situation où les lies libèrent du glutathion durant le séjour sur lie, celui-ci participerait simultanément à la protection contre les oxydations contribuant à la prévention du vieillissement aromatique prématuré des vins blancs (*cf.* p. 226).

Conclusions

Il est attendu de l'élevage des vins blancs en barrique, les effets positifs du bois, des lies et de leurs interactions réciproques. Globalement, le bois apporte de la complexité aromatique et gustative alors que les levures tempèrent la prise de boisé pour une bonne adaptabilité des vins blancs à l'élevage. L'attente repose également sur la préservation du fruité caractéristique du cépage vinifié, la complémentarité aromatique apportée par le bois et les lies, l'acquisition de la persistance des caractères sensoriels lors de la dégustation ; elle porte aussi sur la recherche de l'acquisition d'un « effet structurant » et de l'aptitude au vieillissement en bouteille. La conjonction des apports du bois et des lies doit permettre de parfaire le gain en sucrosité.

L'élevage des vins blancs en barrique reste une pratique délicate et difficile à mettre en œuvre tant les facteurs de variations sont grands, que ce soit au niveau du contenant que du comportement de l'activité microbienne. En dehors de la prise excessive de bois, les principaux écueils à faire en sorte d'éviter concernent les défauts que certains bois pourraient quelquefois communiquer, tels que les « odeurs de planche » ou de moisi, et les risques de développement au sein des lies de levures, de flores d'altérations, afin de tirer le meilleur bénéfice de cette vinification en blanc. En considérant que chaque barrique, prise individuellement, constitue un « réacteur » biochimique et chimique multifactoriel, les risques sont statistiquement répartis sur de faibles volumes d'une cuvée, en tout cas très inférieurs à celui de l'élevage en cuve ; si la surveillance est de loin la plus exigeante, l'intervention ponctuelle, affinée et adaptée de l'œnologue en est facilitée. L'autre conséquence, heureusement plus générale, du comportement différent d'une barrique à l'autre, est dédiée à la constitution des assemblages à l'issu de l'élevage ; c'est sur cet acte fondamental de l'œnologie que se joue le rôle capital du maître de chai.

La pleine réussite de l'élevage des vins blancs sous bois, que seule une longue expérience permet véritablement de maîtriser, dépend de nombreux facteurs dont les principaux portent sur le choix des barriques, la périodicité des ouillages, sans oublier la bonne gestion du sulfitage. Cette vinification est étroitement associée depuis son origine à la notion de terroir ; le choix de son usage ne peut être conçu qu'à partir de vendanges de vignes rigoureusement sélectionnées en raison de leur encépagement, du type de sols et sous-sols, de l'exposition, du régime hydrique, de l'évolution de la maturation du raisin… Du reste, cette connaissance du comportement du vignoble et sa sélection parcellaire induite en fonction des caractéristiques des millésimes, sont intimement liées à la réputation de la vinification des vins blancs en barrique, contribuant de façon déterminante au renom des vins ainsi élaborés.

25788_vins_blancs.indb 206 13-10-11 12:23 PM

Préparation des vins au conditionnement

Les opérations technologiques préalables au conditionnement ont deux principaux objectifs : l'obtention de vins limpides et brillants (opérations de clarification) et la prévention de tout risque d'altération lors du transport et du stockage ultérieur (opérations de stabilisation). Les opérations de clarification et de stabilisation finales sont réalisées après assemblage, et au plus près possible de l'embouteillage. Dans le cas des vins blancs, les principaux risques d'instabilités physico-chimiques sont la cristallisation des sels d'acide tartrique et la casse protéique. Une attention particulière doit également être portée aux risques d'altération de la couleur (brunissement, pinking). Les casses d'origine exogène, liées à un apport en ions métalliques (casses ferriques et cuivreuses), ne seront pas abordées ici. La stabilité des vins est évaluée à l'aide de tests. Les opérations de collage, visant à prévenir les casses protéiques ou le brunissement, seront réalisées en premier lieu, avant la stabilisation tartrique et les opérations de clarification et de stabilisation microbiologique finales.

Stabilisation des vins blancs vis-à-vis des risques de casse protéique

Bien que présentes à faibles concentrations (10 à 300 mg L^{-1}), les protéines jouent un rôle primordial dans la stabilité colloïdale des vins blancs. Elles sont susceptibles de former des troubles ou des dépôts dans les vins embouteillés (casses), qui les rendent inacceptables pour le consommateur. Ces protéines proviennent essentiellement de la baie de raisin de masses moléculaires comprises entre 18 et 70 kDa et qui sont chargées positivement au pH du vin. Excepté l'invertase, ce sont des protéines de défense de la baie vis-à-vis de pathogènes. Leur teneur est très dépendante du cépage, de la maturité et de l'état sanitaire de la vendange ainsi que de l'itinéraire technologique d'élaboration des vins.

L'agrégation des protéines dans les vins est généralement attribuée à une dénaturation lente durant le stockage, favorisée par des températures élevées. Cette dénaturation, en induisant des changements de conformation, modifie les équilibres colloïdaux (interactions intermoléculaires) et se traduit par des instabilités. Les travaux visant à identifier les mécanismes impliqués dans le cas des vins soulignent l'absence de relation directe entre la teneur totale en protéines et les risques de développement de troubles ou de précipités détectables à l'œil. Il a été récemment démontré que ces risques dépendent de la nature des protéines présentes, des conditions physico-chimiques (température, force ionique et pH) et de la présence dans le vin de composés non protéiques. En effet, toutes les protéines du vin n'ont pas les mêmes comportements vis-à-vis de la dénaturation et de la précipitation induites par la chaleur. Les protéines les plus sensibles sont les β-glucanases et les chitinases, suivies par les thaumatines et enfin les invertases, qui sont les plus résistantes (Sauvage *et al.*, 2010). Chitinases, β-glucanases et certaines TL-protéines sont susceptibles d'être impliquées dans la formation de précipités à des températures de stockage correctes ou facilement rencontrées durant le transport ou chez le consommateur (16-40 °C). Ces risques sont d'autant plus importants que le pH du vin est bas (Dufrechou *et al.*, 2012). En revanche, des températures supérieures à 50 °C sont nécessaires pour induire la précipitation de la majorité des TL-protéines et des invertases. Par ailleurs, la force ionique et le pH du vin, ainsi que certains polysaccharides et composés phénoliques, ont une grande influence sur la taille et la structure des agrégats formés et le trouble qui résulte de cette agrégation (Dufrechou *et al.*, 2012). Des résultats montrent également que la présence de tanins endogènes ou exogènes (apportés par les bouchons) est susceptible de provoquer l'agrégation à température ambiante de protéines du vin usuellement stables dans ces conditions (Manteau *et al.*, 2006).

25788_vins_blancs.indb 207 13-10-11 12:23 PM

Différents tests ont été proposés pour évaluer la stabilité ou l'instabilité des vins vis-à-vis des troubles protéiques. Ces tests sont basés sur la dénaturation et la précipitation provoquée des protéines présentes dans les vins selon différents protocoles : par addition d'un réactif, par addition d'un réactif et chauffage, par chauffage seulement. Les tests les plus répandus sont les tests de stabilité à la chaleur. Différents barèmes de temps et de températures peuvent être appliqués. Ces barèmes associent généralement des températures « peu élevées » avec des temps longs (60 °C pendant un jour par exemple) ou des températures élevées avec des temps courts (80 °C pendant 30 minutes). Le trouble qui se développe au refroidissement est évalué après plusieurs heures par turbidimétrie. Ces tests sont empiriques et ne reflètent pas nécessairement les évolutions et les précipitations susceptibles de se produire à température ambiante : ils conduisent à la dénaturation de la plupart des protéines et ne prennent pas en compte les différences de stabilité existant entre les différentes classes et mentionnées précédemment. Ils sont souvent considérés comme entraînant une surestimation du risque et des traitements de stabilisation excessifs. Le traitement utilisé à l'heure actuelle est le collage à la bentonite. Dispersée dans de l'eau avant d'être introduite dans le vin, cette argile gonfle par absorption d'eau et forme des dispersions colloïdales présentant une surface spécifique importante. Introduites dans le vin, ces particules colloïdales (feuillets) chargées négativement vont adsorber les protéines chargées positivement et floculer. L'efficacité des bentonites dépend de la nature des contre-ions échangeables, et notamment du ratio Na^{+}/Ca^{++}. Les bentonites sodiques ou calciques activées sont plus efficaces. Les lies sont éliminées après sédimentation par soutirage. La dose de bentonite à utiliser pour stabiliser le vin est déterminée au préalable par des essais de collage en laboratoire.

Bien qu'efficace, le collage à la bentonite entraîne différents types de problèmes, en particulier dans le cas où de fortes doses sont nécessaires. Tout d'abord, ce traitement peut affecter la qualité des vins en induisant des pertes significatives d'arômes. Des travaux montrent l'existence d'une diminution de certains composés d'arômes du fait d'un collage à la bentonite soit par adsorption directe, soit car ceux-ci étaient faiblement liés aux protéines éliminées, mais sans toutefois exercer un impact sur les caractéristiques sensorielles (Cabaroglu *et al.*, 2003). Il est vraisemblable que cet impact est d'autant plus important que la dose nécessaire à la stabilisation est élevée et qu'il sera très dépendant du vin considéré. Le collage à la bentonite entraîne également des pertes de volume (2 à 10 %) et les lies de collage constituent une source de rejets non négligeable (Hoj *et al.*, 2001). Pour ces raisons, différents types de traitements alternatifs ont été évalués. Des travaux récents montrent l'intérêt que pourraient présenter des traitements de collage par des adjuvants de nature polysaccharidiques, capables de floculer avec les protéines des vins (Cabello-Pasini *et al.*, 2005 ; Marangon *et al.*, 2012). Enfin, une autre des alternatives proposées est un traitement sur moût, associant des protéases à une flash-pasteurisation, les protéases sélectionnées sont résistantes à la chaleur. La flash-pasteurisation permet une dénaturation des protéines des vins blancs qui les rend alors accessibles à l'hydrolyse enzymatique, ce qui n'est pas le cas des protéines natives (Poccock *et al.*, 2003).

Des évolutions dans les modalités du collage à la bentonite ont aussi été proposées. Ces évolutions visent à limiter les temps de traitement (et donc les volumes de cuverie occupés), les doses utilisées et les volumes des lies (pertes de vin et rejets). L'adsorption des protéines par les bentonites étant très rapide (de l'ordre de la minute), il est possible d'effectuer ce traitement en ligne, les bentonites étant ensuite séparées du vin par centrifugation ou par filtration sur filtre tangentiel. Si elle permet de réduire les volumes de lies, l'élimination des bentonites par centrifugation s'avère incomplète. Une autre évolution envisagée est la mise en place de tests et de traitements moins drastiques, ne prenant en compte que les protéines les plus sensibles à la précipitation induite par la chaleur. Il semble que des tests à la chaleur moins radicaux, conduisant à la mise en œuvre de doses de bentonites plus faibles, pourraient être suffisants

25788_vins_blancs.indb 208 13-10-11 12:23 PM

pour assurer la stabilisation. Compte tenu de l'effet matrice, ceci doit cependant être validé sur une large gamme de produits. De même, il est important de prendre en considération l'impact de tannins sur le développement de troubles impliquant des protéines thermorésistantes.

Stabilisation vis-à-vis des risques d'altération de la couleur

Le brunissement des vins blancs est un phénomène lié à l'oxydation non enzymatique des composés phénoliques (acides hydroxycinnamiques, monomères et oligomères de flavanols). Ce processus est initié par des métaux de transition (fer et cuivre en particulier) (Oliveira *et al.*, 2011) et résulte en la formation de quinones. Ces dernières, instables, vont intervenir dans différentes réactions d'oxydoréduction conduisant à un brunissement des vins. La prévention du brunissement peut être obtenue grâce à l'ajout d'acide ascorbique ou de SO_2, capable de réduire ces quinones. L'abaissement de la teneur en composés phénoliques, et notamment en flavanols, permet en outre de réduire le potentiel au brunissement des vins blancs (Fernandez-Zubano *et al.*, 1995). Cet abaissement peut être obtenu par un collage, par exemple au caséinate de potassium ou à la polyvynilpolypyrrolidone (PVPP). Le terme « pinking » est utilisé pour décrire une évolution de la couleur qui se développe lors des dernières étapes de l'élaboration des vins blancs ou lors de leur conservation, du fait d'une exposition à l'air. Il peut également survenir après la mise en bouteilles. La sensibilité des vins est évaluée par mesure de densité optique à 500 nm avant et après addition au vin d'eau oxygénée (à 75 mg/L, pendant 24 heures et à 25 °C). Les vins sont considérés comme présentant des risques pour des différences de DO500 supérieures à 0,05. Les vins à risque peuvent être traités à la PVPP, mais les doses nécessaires sont élevées. En revanche, le risque peut être prévenu par addition d'acide ascorbique à la mise en bouteille (45 mg/L), en association avec du SO_2 (Lamuela-Raventos *et al.*, 2001).

Stabilisation vis-à-vis de la cristallisation des sels d'acide tartrique

La cristallisation de l'hydrogénotartrate de potassium (THK) ou du tartrate neutre de calcium (TCa) est un problème d'instabilité commun à tous les vins. Les risques de cristallisation existent en conditions de sursaturation, quand le produit de concentration de l'acide tartrique et du sel correspondant est supérieur à leur produit de solubilité. Pour des teneurs en potassium, en calcium et en acide tartrique données, la valeur des produits de concentration sera donc dépendante du pH, mais aussi de la composition du vin. Le produit de solubilité correspond à la quantité maximale de THK ou de TCa qu'il est possible de dissoudre dans des conditions physico-chimiques données, et donc à la concentration à saturation (*figure 4.25*). Il est fonction de la teneur en éthanol (il diminue quand la teneur en éthanol augmente) et de la température (il diminue avec la température). Des cristallisations spontanées se développent dans les vins au cours de la fermentation alcoolique et lors de leur conservation à basse température. Les moûts étant naturellement riches en potassium et l'hydrogénotartrate étant la forme majoritaire de l'acide tartrique au pH des vins, les problèmes de cristallisation sont le plus souvent liés à THK. Des problèmes peuvent cependant intervenir en cas d'enrichissement en Ca^{++} car les produits de solubilité du TCa sont beaucoup plus faibles (Vallée *et al.*, 1995).

La cristallisation des sels d'acide tartrique se déroule en deux étapes. La première, qui est aussi la plus lente, est la nucléation : les solutés s'associent pour former des essaims moléculaires. Au-delà d'une certaine taille, ces essaims deviennent stables et produisent des nucléi. La seconde étape est la croissance des cristaux, par diffusion et intégration des ions constitutifs dans les nucléi. La croissance s'arrête lorsque la solution redevient juste saturée (PC = PS). On appelle

25788_vins_blancs.indb 209 13-10-11 12:23 PM

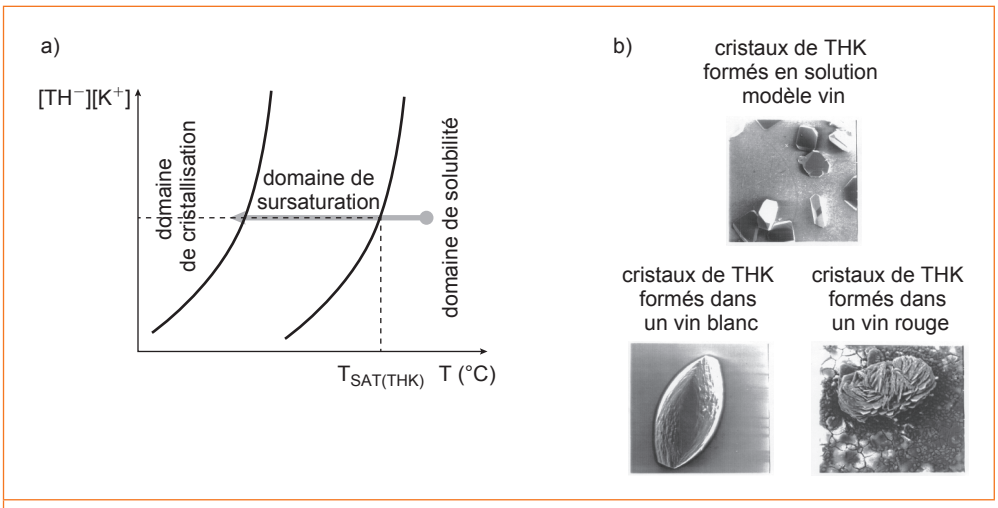


Figure 4.25 : a) Relation entre la teneur en acide tartrique et en potassium d'un vin, la température et la solubilité du bitartrate de potassium

Dans la zone de stabilité, le produit de concentration PC est inférieur au produit de solubilité PS (PS augmente avec la température) et un cristal ajouté se dissout. La zone de sursaturation correspond à un domaine de température et de concentration où le vin est saturé (PC . PS, un cristal ajouté ne se dissout pas), mais où aucune cristallisation spontanée n'est observée. La zone de cristallisation correspond à la zone où la nucléation et la croissance des cristaux se développent. La largeur du domaine de sursaturation est fonction de la composition du vin.

b) Impact de la composition des vins en colloïdes (polysaccharides, composés phénoliques polymérisés) sur la morphologie des cristaux d'hydrogénotartrate de potassium

temps d'induction le temps nécessaire, après mise en place des conditions de sursaturation, pour observer une diminution des concentrations en acide tartrique et en sel dans le milieu. Dans la pratique, ceci est suivi par des mesures de conductivité. Les différents états d'une solution en fonction du produit de concentration et de la température sont représentés sur la *figure 4.25, a*. On distingue trois domaines : un domaine de stabilité (la solution est sous-saturée, un cristal ajouté se dissout), un domaine de sursaturation et un domaine de cristallisation. Le domaine de sursaturation correspond à des conditions où la solution est saturée ou sursaturée (un cristal ajouté ne se dissout pas) mais où la cristallisation spontanée, qui implique une étape de nucléation, ne se produit pas. Il y aura en revanche croissance d'un cristal exogène. La zone instable correspond aux conditions pour lesquelles une cristallisation spontanée se produit. Il y a nucléation et croissance des cristaux jusqu'à ce que la solution redevienne juste saturée.

Les risques de cristallisation des sels d'acide tartrique ne peuvent pas être évalués dans les vins sur la base de simples données analytiques. La matrice, et notamment la composition en macromolécules, exerce un effet important sur la nucléation et la croissance des sels d'acide tartrique. Il existe dans les vins de nombreux composés qui favorisent leur solubilité par rapport à celle observée dans de simples solutions hydroalcooliques. Ces composés peuvent ralentir ou empêcher la nucléation par complexation avec les espèces impliquées, ce qui diminue alors la sursaturation, ou en empêchant la formation de nucléis de taille critique. Ils peuvent également ralentir la croissance, de telle sorte que les cristaux restent invisibles à l'œil. Des effets inhibiteurs sur la nucléation et la croissance des cristaux ont été mis en évidence pour certains

25788_vins_blancs.indb 210 13-10-11 12:23 PM

polysaccharides des vins et pour les proanthocyanidines (Tanahashi *et al.*, 1987). Du fait de leurs très faibles teneurs en proanthocyanidines, les vins blancs sont beaucoup plus instables que les vins rouges et présentent des domaines de sursaturation beaucoup moins larges (*figure 4.25,a*). L'impact des composés colloïdaux des vins sur la croissance et la morphologie des cristaux est illustré sur la *figure 4.25, b*.

Le risque de cristallisation une fois le vin embouteillé est évalué au moyen de divers tests. Ces derniers, conçus pour donner une réponse rapide, sont établis en référence à un traitement au froid (températures négatives) pendant une durée déterminée (nucléation spontanée). Différentes options sont ensuite possibles pour stabiliser les vins : induction de la cristallisation (traitement par le froid), élimination de l'acide tartrique et des cations en excès (électrodialyse ou échangeurs cationiques) ou utilisation d'additifs ayant la propriété d'inhiber la cristallisation. Les traitements par le froid sont les plus anciens et les plus couramment pratiqués. Le vin est amené à une température comprise entre 0 et – 4 °C afin de provoquer la cristallisation des sels d'acide tartrique et laissé environ une semaine à cette température. Le succès du traitement dépend des conditions d'abaissement de la température ainsi que de la durée et des conditions de la stabulation. L'abaissement de température doit être rapide pour favoriser la nucléation et la formation de nombreux germes. Il est crucial que la cuve de stabulation soit agitée. Ceci permet d'augmenter l'aire des cristaux au contact de la solution et favorise une croissance rapide de ces derniers. Les cristaux sont ensuite éliminés par filtration fine à basse température. Il est possible de réduire la durée de traitement par ensemencement du vin avec des cristaux de tartre, ajoutés à une concentration de 400 g/hL. L'étape de nucléation, longue et aléatoire, est ainsi supprimée. L'acide tartrique et le potassium en excès sont éliminés par la croissance des cristaux exogènes. Cette technique fonctionne bien dans le cas des vins blancs, beaucoup moins riches que les rouges en colloïdes protecteurs susceptibles d'inhiber la croissance. Ceci permet la mise en œuvre de procédés en continu dans le cas de grosses installations. Le problème associé à cette technique est son coût en frigories, auquel s'ajoute une filtration pour l'élimination des cristaux.

L'électrodialyse constitue une technique soustractive alternative (Moutounet *et al.*, 1994) (*figure 4.26*). Il s'agit d'une technique séparative mettant en œuvre des membranes organiques perméables aux ions. Les membranes utilisées transfèrent exclusivement soit les cations, soit des anions, qui migrent à travers les membranes sous l'effet de l'application d'un champ électrique. Il est donc possible, au moyen de couples de membranes appropriés, de modifier la composition d'une solution électrolytique. Les membranes sont assemblées dans un système de type filtre-presse où elles forment deux sortes de compartiments : des sections de concentration et des sections de désionisation (*figure 4.26*). Pour la stabilisation tartrique, le vin circule dans la section désionisation et les ions extraits s'accumulent dans la section de concentration, où circule à l'origine un électrolyte (NaCl, 2 mS). La stabilisation tartrique est obtenue par élimination des ions excédentaires. Ce traitement se traduit essentiellement par une perte en ions potassium, calcium (l'ion potassium étant éliminé de façon préférentielle) et en acide tartrique. Il a sa place dans la chaîne de traitement des vins après filtration fine et avant passage du vin sur membranes au niveau de la chaîne d'embouteillage.

Le procédé est contrôlé grâce à la détermination préalable du degré d'instabilité tartrique (DIT) du vin. L'électrodialyseur fonctionne en batch alimenté (*figure 4.27*) : le vin circule dans le système jusqu'à obtention de la conductivité finale déterminée par le DIT et le temps de traitement est donc directement lié à son degré d'instabilité.

Un des principaux avantages de l'électrodialyse est donc la possibilité d'adapter le traitement à chaque vin. Par ailleurs, ce procédé est très bien adapté dans une démarche de traçabilité et d'assurance qualité, ne nécessite pas de filtration et permet une diminution sensible des dépenses énergétiques par comparaison au traitement par le froid. En revanche, les

25788_vins_blancs.indb 211 13-10-11 12:23 PM

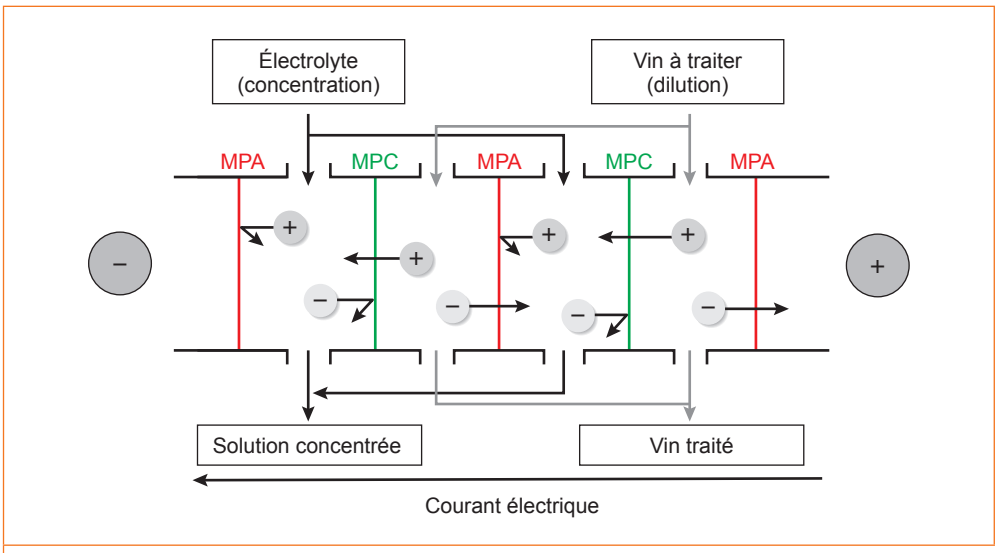


Figure 4.26 : Principe de fonctionnement de l'électrodialyse à deux cellules (concentration et dilution) pour la stabilisation tartrique des vins

MPC : membrane perméable aux cations (K^+, Ca^{++}, Na^+, ...)
MPA : membrane perméable aux anions (TH^-, T^{--}...)

consommations d'eau, même réduites par le recyclage des eaux de procédés, restent non négligeables. Les membranes utilisées ont été sélectionnées de façon à permettre une extraction importante de potassium et d'anion hydrogéno-tartrate, ainsi qu'une certaine élimination du calcium, ceci sans modification majeure de l'équilibre physico-chimique et des caractéristiques organoleptiques des vins. Les pertes en éthanol sont inférieures à 0,1 % v/v et la diminution d'acidité volatile reste inférieure à 0,09 g H_2SO_4/L. La diminution de pH est très dépendante du vin considéré et de son degré d'instabilité. Elle reste toutefois inférieure à 0,25 unité, des diminutions de l'ordre de 0,2 unité n'étant observées que pour les vins les plus instables (DIT de 20 à 25 %). Cette diminution de pH peut néanmoins constituer une limite dans le cas de vins très instables et présentant des pH bas.

La stabilisation des vins vis-à-vis des risques de cristallisation peut aussi être obtenue par l'ajout d'additifs au moment de l'embouteillage. Les additifs autorisés et efficaces dans le cas des vins blancs sont l'acide métatartrique, les mannoprotéines de levures et les carboxymethylcelluloses. L'acide métatartrique est un mélange de mono et diesters, ainsi que de quelques polyesters, d'acide tartrique. L'indice d'estérification de ce produit doit être supérieur à 32 % pour assurer une bonne inhibition de la cristallisation. Les doses maximales autorisées sont de 10 g/hL. Son principal inconvénient est d'être instable par hydrolyse, et ce, d'autant plus rapidement que la température de conservation du vin est élevé. Il est à réserver aux produits à rotation rapide. Les mannoprotéines de levures sont en outre susceptibles d'inhiber la cristallisation des sels d'acide tartrique. Les produits proposés à cet effet sont des fractions spécifiques, sélectionnées et purifiées : en effet, les mannoprotéines présentent des structures très diverses, qui leur confèrent des propriétés également variables. Elles sont présentées sous forme liquide. Les doses d'utilisation sont de l'ordre de 20 g/hL. Ajoutées avant embouteillage, elles agissent en tant qu'inhibiteurs de la nucléation des cristaux. Elles n'ont en revanche que peu d'effet sur la croissance de cristaux préexistants. Leur efficacité ou l'impact de la dose utilisée doit donc être évaluée à l'aide d'un test adapté, tel que l'ISTC 50 (indice de stabilité

25788_vins_blancs.indb 212 13-10-11 12:23 PM

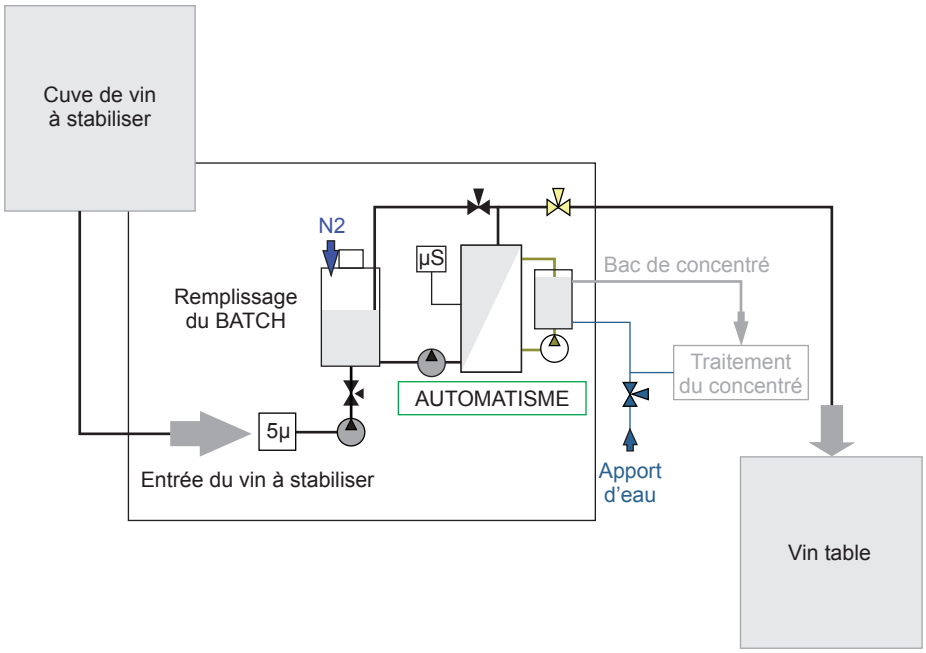


Figure 4.27 : Électrodialyse pour la stabilisation tartrique des vins : fonctionnement en batch alimenté

Un volume du vin à traiter est admis dans un cuvon qui alimente directement l'empilement de membranes. Le vin circule dans le système jusqu'à obtention de la conductivité finale déterminée par le test du DIT : il s'appauvrit en acide tartrique, potassium et calcium, alors que le compartiment concentration s'enrichit progressivement. Les risques de cristallisation dans le concentré sont évités par un apport d'eau et le maintien de la conductivité en dessous d'une valeur seuil. De façon à limiter les consommations d'eau, le concentrat est traité par osmose inverse et l'eau recyclée.

tartrique critique), pour lequel il n'y a pas d'addition de crème de tartre. La carboxymethylcellulose (CMC) est un additif largement répandu dans l'industrie agroalimentaire dont l'efficacité vis-à-vis de la cristallisation du THK a été étudiée depuis longtemps. Dans le cas des vins blancs, cet additif a un effet inhibiteur sur la nucléation et la croissance des cristaux, et ce, à faibles doses (Crachereau *et al.*, 2001). Cette efficacité n'est cependant pas retrouvée pour les vins rouges, dans lesquels elle peut par ailleurs induire des troubles colloïdaux. La CMC a récemment été autorisée pour la stabilisation tartrique des vins blancs tranquilles et mousseux à la dose maximale de 10 g/hL.

Clarification et stabilisation microbiologique

En pratique, les vins sont surtout filtrés au moment de leur préparation pour procéder à la mise en bouteille. Ceci revient selon les cas à filtrer des vins jeunes ou des vins après leur élevage. Les problèmes rencontrés seront bien évidemment différents, et les unités de filtration n'auront pas des performances équivalentes. Les moyens de filtration mis en œuvre dépendront des opérations de préclarification préalables et différeront selon que l'on ait affaire à des vins

25788_vins_blancs.indb 213 13-10-11 12:23 PM

bruts issus du premier soutirage, des vins centrifugés ou des vins ayant reçu un ou plusieurs collages. L'objectif visé dans le cas des vins blancs est une turbidité finale à la mise en bouteille inférieure à 1 NTU. Cette valeur, si elle n'assure pas une stabilisation microbiologique, garantit en revanche la limpidité et la brillance du produit. La stabilisation microbiologique devra être raisonnée en fonction des caractéristiques du vin (pH, teneur en éthanol, présence ou non de sucres résiduels, additifs...) et des exigences du marché.

Les particules à éliminer dans les vins peuvent être des micro-organismes (levures, bactéries), des agrégats colloïdaux formés lors de l'élaboration des vins, des débris cellulaires fins, etc. Elles se caractérisent par une grande polydispersité de taille (de quelques dizaines de nanomètres à plusieurs micromètres), de forme (allongées, plutôt sphériques) et de structure (nature, compressibilité). De ce fait, leur accumulation à la surface d'un milieu filtrant a pour conséquence un colmatage de ce dernier, entraînant, d'une part, une diminution importante des flux et, d'autre part, des risques de rétention excessifs en composés d'intérêt. Les procédés traditionnels en mode frontal tels que la filtration par alluvionnage et la filtration sur plaques sont bien adaptées au cas de la clarification des vins. La filtration par alluvionnage est basée sur l'addition au vin à traiter d'un adjuvant (kieselghurs), lui-même poreux, qui va donner sa structure au gâteau formé par les particules retenues à surface du milieu filtrant. Ce dernier reste donc perméable. La filtration sur plaques est une filtration en profondeur : les particules sont piégées/adsorbées dans la masse du matériau de filtration et ne forment pas de dépôt de surface. Dans les deux cas, adjuvants ou plaques devront être choisis en fonction de la charge initiale du vin en matière en suspension afin d'éviter tout colmatage. On distingue des adjuvants/plaques adaptés à la filtration « dégrossissante » des vins jeunes, très troubles, aux filtrations clarifiantes et aux filtrations de finition (jusqu'à la filtration stérilisante). En fonction de la charge initiale du vin ainsi que des opérations préalables de collage/décantation réalisées et de leurs conditions, il faudra plusieurs opérations successives avant d'atteindre la turbidité et le degré de réduction en micro-organismes souhaités pour la mise en bouteilles. La stabilisation microbiologique finale sera, selon les cas, réalisée sur des plaques stérilisantes ou sur des membranes (0,45 ou 0,65 µm) positionnées en amont de la chaîne d'embouteillage. Des tests de filtrabilités ont été proposés pour sélectionner les adjuvants/media (type de kieselgur ou de plaques) les mieux adaptés au vin à filtrer et ainsi rationaliser ces opérations.

Contrairement aux procédés en mode frontal, la microfiltration tangentielle permet d'obtenir en une seule opération unitaire la clarification et la stabilisation microbiologique des vins, et ce, quelle que soit la charge initiale du produit à traiter. Le matériau filtrant est une membrane microporeuse (diamètre moyen de pores supérieur à 0,1 µm) ayant un seuil de coupure suffisamment bas pour permettre la rétention de l'ensemble des micro-organismes et des éléments responsables du trouble. Dans le cas d'une filtration sur membrane en mode frontal, le liquide à traiter arrive perpendiculairement à la membrane : les particules retenues forment un dépôt de surface dont l'épaisseur augmente progressivement avec le volume traité. Sous peine d'un colmatage immédiat, on ne peut filtrer sur membrane microporeuse et en mode frontal que des vins parfaitement préclarifiés. Cette technique est donc réservée à la filtration avant embouteillage. En microfiltration tangentielle, la circulation du fluide tangentiellement à la membrane crée une contrainte de cisaillement à la surface qui s'oppose au dépôt des particules (Ripperger et Altmann, 2002). Cette contrainte de cisaillement est dépendante de la perte de charge le long de la membrane, et de la vitesse de circulation du fluide et de la géométrie des modules. Une particule donnée est soumise au voisinage de la membrane à différentes forces, liées au régime d'écoulement du fluide, et qui ont un effet antagoniste : une force liée au flux de perméation (et donc à la pression transmembranaire appliquée) qui tend à l'amener vers la surface de la membrane ; des forces liées à l'écoulement tangentiel du fluide (et donc à la contrainte de cisaillement) qui tendent à s'opposer au dépôt. Pour une particule donnée, il existe

25788_vins_blancs.indb 214 13-10-11 12:23 PM

un ratio critique en deçà duquel il n'y a pas de dépôt et au-delà duquel un dépôt de forme. Ce ratio est fonction de la taille et de la forme des particules. Il est d'autant plus faible que les particules sont de petite taille.

D'une façon idéale et dans des conditions hydrodynamiques appropriées, on devrait observer lors de la filtration tangentielle de liquides chargés un débit constant. Ce n'est pas le cas dans la pratique : il existe un colmatage des membranes, qui se traduit par une résistance additionnelle à l'écoulement. Les flux diminuent au début de l'opération, de façon plus ou moins importante, pour atteindre une valeur stationnaire ou quasi stationnaire. Si la filtration est menée dans des conditions opératoires correctes, cette résistance à l'écoulement reste cependant minime par rapport à la résistance engendrée par la filtration d'un même fluide en conditions frontales. Ce colmatage est lié à des interactions macromolécules/membranes ainsi qu'à la présence de fines particules (bactéries lactiques, agrégats colloïdaux submicroniques), pouvant engendrer un colmatage interne ou un dépôt de surface. Les interactions macromolécules/membranes et le colmatage interne sont minimisés par le choix de matériaux membranaires adéquats en termes de propriétés de surface et de taille de pores (Vernhet *et al.*, 1998). Pour empêcher tout dépôt des plus fines particules, il faudrait fonctionner en œnologie dans des conditions de pression transmembranaire, et donc de flux de perméation, très faibles (Boissier *et al.*, 2008). Ces conditions sont difficilement compatibles avec le mode d'utilisation du procédé dans la filière. Une alternative est la mise en œuvre de rétro-filtrations. Cette technique est basée sur la réinjection, à intervalles réguliers et dans le sens contraire de celui de la filtration, d'un certain volume de perméat. Ceci permet de déstructurer le dépôt de surface, les particules/agrégats qui le constituent étant alors éliminés dans le rétentat grâce à la circulation tangentielle du fluide. Les débits moyens de filtration obtenus dans le cas des vins blancs sont supérieurs à ceux observés avec les vins rouges et varient selon le type de vin de 60 à 100 L/h.m².

La microfiltration tangentielle permet une simplification notable de l'itinéraire technologique de clarification et de stabilisation microbiologique des vins. Ce procédé présente d'autres avantages. Il est automatisable, et les nettoyages sont effectués en place, sans démontage des appareils. Ceci permet des gains sensibles de temps et de main-d'œuvre, et par conséquent de productivité des installations. Par ailleurs, la substitution d'une succession de traitements entraînant des pompages et des transferts par une seule opération permet de limiter les pertes en vins et le nombre de sulfitages. L'utilisation de la microfiltration tangentielle supprime également les rejets polluants liés aux terres et aux plaques. La régénération des matériaux membranaires génère cependant des rejets liquides. Les unités de microfiltration tangentielle sont proposées avec différents niveaux d'automatisation. Le niveau minimal correspond au réglage et au contrôle des paramètres de fonctionnement (PTM, vitesse de circulation tangentielle et fréquence des backpulses). Des niveaux d'automatisation beaucoup plus poussés, avec gestion complète des cycles de filtration mais aussi de lavage sont en outre proposés. Certains équipementiers proposent de plus un réglage automatique des paramètres de fonctionnement (conditions hydrodynamiques) en fonction du type de produit à traiter). Le choix du niveau d'automatisation est, tout comme le dimensionnement des installations, dépendant de la structure de production concernée et du retour sur investissement attendu. Les outils proposés actuellement donnent de très bonnes performances en termes de stabilisation microbiologique comme de clarification. Les niveaux de turbidités obtenus sont le plus souvent inférieurs à 1 NTU, ce qui correspond à des vins brillants. Les rétentions en micro-organismes sont généralement totales en sortie de filtre. Des re-contaminations sont en revanche possibles lors du stockage ultérieur des vins avant embouteillage. C'est pourquoi une filtration sur membrane en mode frontal est souvent conservée en amont de la tireuse. Les vins préparés par microfiltration tangentielle présentent une très bonne filtrabilité : les indices de filtrabilité (indice de colmatage ou volume maximal filtrable) sont en général meilleurs que ceux obtenus après

25788_vins_blancs.indb 215 13-10-16 2:42 PM

filtration par alluvionnage. De ce fait, les filtrations finales sont réalisées dans de bonnes conditions, ce qui contribue à une augmentation de la durée de vie des membranes. Enfin, la microfiltration tangentielle telle qu'elle est proposée aujourd'hui n'entraîne pas plus de rétentions que la chaîne de clarification traditionnelle et les essais de dégustations et d'analyse sensorielle ne montrent pas d'impact négatif du procédé sur la qualité organoleptique globale des vins traités.

Conditionnement des vins

Une fois le vin blanc élevé et stabilisé vis-à-vis notamment des protéines et de l'acide tartrique, il doit être conditionné pour sa mise en marché. Il est communément admis en œnologie que l'oxydation poussée est défavorable à la qualité des vins. Il apparaît même nécessaire de protéger de l'oxygène les vins blancs à boire jeune (Ferreira *et al.*, 2002). Divers auteurs ont montré que 2 mg/L d'oxygène en plus sur des vins blancs entraînaient des modifications sensorielles significatives après quelques mois. Or, les différentes études entreprises pour caractériser les apports en oxygène dissous (Vidal *et al.*, 2004) et gazeux (Vidal et Moutounet, 2006) lors des opérations subies par le vin prouvent que le conditionnement constitue une des phases les plus critiques vis-à-vis de la dissolution d'oxygène. La sensibilité à l'oxydation des arômes et de la couleur des vins blancs en général implique donc une attention toute particulière du conditionneur, car une fois le vin conditionné, il ne pourra compter que sur les paramètres de conservation (température, hygrométrie, lumière...) pour maîtriser l'évolution des vins.

Enfin, la stabilité microbiologique et l'ajustement de la teneur en CO_2 dissous, support majeur de la qualité sensorielle d'un vin blanc, constituent les deux autres principaux paramètres à maîtriser pour assurer la longévité de la qualité sensorielle du vin conditionné.

Additifs

SO_2

Le dioxyde de soufre (SO_2, E220) a un double rôle d'antioxydant et d'antiseptique. Les bactéries sont plus sensibles à son action que les levures. Lors de son incorporation dans le vin, une fraction de celui-ci va se combiner aux sucres ou aldéhydes (éthanal entre autres) et cétones présents. La fraction restante dite libre est formée par le SO_2 moléculaire dit actif et les ions bisulfites (HSO_3^-), en équilibre selon l'équation 1.

Éq. 1 $$SO_2 + H_2O \qquad H^+ + HSO_3^-$$

Le SO_2 actif est la fraction antiseptique du SO_2, directement dépendant de la teneur en SO_2 libre. On ne peut que l'estimer par calcul. Il diminue quand le pH augmente et s'élève très légèrement avec le degré alcoolique. Il donne une information sur le niveau de protection microbiologique d'un vin.

Une valeur de SO_2 actif proche de 0,6 mg/L paraît suffisante pour limiter le développement microbien. Pour exemple, 0,6 mg/L de SO_2 actif sont obtenus avec 17 mg/L de SO_2 libre pour un vin de 12 % vol. à pH 3,4 et à 20 °C. On peut prévoir de remonter ce taux à 0,7-0,8 mg/L si on veut éviter la FML en bouteille. Des calculateurs de SO_2 actif sont disponibles en ligne (www.oenobrands.com ; www.vignevin-sudouest.com).

25788_vins_blancs.indb 216 13-10-11 12:23 PM

L'activité antioxydante principale est due à l'ion bisulfite. Ce dernier réagit avec le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) formé par dismutation de l'oxygène pour donner de l'acide sulfurique, ce qui limite davantage l'oxydation des composés phénoliques et de l'éthanol. Le SO_2 peut également combiner directement l'oxygène pour former des sulfates, selon l'équation 2. Mais la faible proportion de sulfites (SO_3^{2-}) au pH du vin rend cette réaction marginale.

Éq. 2 $$SO_3^{2-} + \frac{1}{2}O_2 \qquad SO_4^{2-}$$

Le SO_2 a aussi un rôle organoleptique. Son seuil de perception dans les vins est compris entre 20 et 60 mg/L en fonction du pH. De plus, il faut faire attention aux oxydations fréquentes couplées avec un sulfitage, car l'oxydation du SO_2 en sulfates peut être responsable de l'assèchement gustatif du vin. À l'opposé, en combinant les aldéhydes (éthanol et éthanal), il supprime le caractère d'évent.

Il est préférable de pratiquer un sulfitage d'ajustement au moment du remplissage de la cuve de tirage. Le sulfitage principal aura été fait préalablement pour laisser le temps à l'équilibre des formes libres et combinés. La teneur en SO_2 libre recommandée à la mise en bouteille pour les vins blancs secs est de 35 ± 5 mg/L. Cette valeur cible sera augmentée de 5 à 10 mg/L pour des vins blancs doux ou des vins blancs secs conditionnés en *Bag-in-Box* (BIB) ou dans le cas de températures élevées de transport et de stockage (*tableau 4.18*). Ces doses mises en œuvre pour lutter contre l'oxydation couplées avec une filtration finisseuse pauvre en germes sont généralement suffisantes pour les vins blancs secs pour éviter les développements microbiens. L'étiquetage « contient des sulfites » est obligatoire à partir de 10 mg/L de SO_2 total.

Acide ascorbique

L'acide ascorbique (vitamine C, E300) est principalement utilisé à la mise en bouteille comme réducteur d'oxygène. Son pouvoir antioxydant diminue sensiblement quand le pH augmente. Il doit toujours être utilisé en association avec du SO_2. La dose maximale autorisée dans la CEE est de 150 mg/L de vin, mais les doses recommandées se situent entre 50 et 100 mg/L.

L'acide ascorbique est oxydé en acide déhydroascorbique par l'oxygène pour donner du peroxyde d'hydrogène, lequel va oxyder le dioxyde de soufre, présent dans le vin, en sulfates. Or, l'oxydation de l'acide ascorbique est une réaction plus rapide que celle du SO_2. Aussi, il est impératif de l'ajouter après addition préalable du SO_2 qui va consommer l'oxygène, car sinon le résultat recherché de fraîcheur, c'est-à-dire de réduction par addition de l'association SO_2/acide ascorbique est perdu et même conduit au résultat inverse (Maujean, 2001). Il semble qu'une

Tableau 4.18 : Teneurs maximales en SO_2 total selon le type de vin blanc

Type de vin blanc	SO_2 total maximal légal CEE*
Vin sec (glucose + fructose < 5 g/L)	200 mg/L
Vin (glucose + fructose > 5 g/L)	250 mg/L
Vin liquoreux VQPRD par dérogation, exemples : – Côtes de Bergerac – Sauternes, Jurançon	 300 mg/L 400 mg/L
Vin de pays (glucose + fructose < 5 g/L)	150 mg/L
Vin de pays (glucose + fructose > 5 g/L)	185 mg/L

* Selon règlement CEE 606/2009

25788_vins_blancs.indb 217 13-10-11 12:23 PM

concentration minimale de 10-20 mg/L de SO_2 libre soit nécessaire pour éviter cet effet préjudiciable (Blouin, 1993). L'acide ascorbique favorise la couleur jaune et reste efficace contre le brunissement tant que le vin en contient suffisamment après la mise en bouteille. Une fois épuisé, un brunissement apparaît nettement. L'aération du vin, notamment à la mise en bouteille, entraîne l'oxydation du fer ferreux (Fe^{2+}) en fer ferrique (Fe^{3+}). Plusieurs milligrammes de fer ferrique peuvent suffire pour induire une casse ferrique. Un ajout de 50-100 mg/L d'acide ascorbique en réduisant le fer ferrique en ferreux permet de protéger le vin.

Finalement, mis à part pour les vins riches en fer, il vaut mieux diminuer la teneur en oxygène piégé au conditionnement, afin d'éviter un effet boomerang dû à l'emploi d'acide ascorbique.

Acide sorbique ou sorbate de potassium

Par son action inhibitrice vis-à-vis des levures, l'acide sorbique (E200) permet de contrôler durablement les problèmes de refermentation que l'on peut rencontrer sur les vins qui conservent des sucres résiduels. Il contribue ainsi à la stabilisation des produits sucrés et permet en outre par son activité antilevurienne, de protéger les vins à faible titre alcoométrique contre les organismes responsables de la maladie de la fleur (*Candida*, *Pichia*, *Hansenula*...).

Dans certaines conditions, les bactéries peuvent dégrader l'acide sorbique et provoquer dans les vins la formation de molécules indésirables, dont l'odeur rappelle celle du géranium (seuil de perception : 0,1 µg/L). Il est donc important d'utiliser dans les vins le sorbate en association avec un minimum de 30 mg/L de SO_2 libre. La dose maximale autorisée dans la CEE est de 200 mg/L de vin.

Dimethyldicarbonate (DMDC)

Comme l'acide sorbique, il empêche la refermentation des vins sucrés conditionnés. Il est également efficace contre les *Brettanomyces*. Il permet de réduire les doses de SO_2 utilisées au conditionnement. La dose maximale autorisée dans la CEE est de 200 mg/L de vin de teneur en sucres ffl 5 g/L. Le DMDC (E242) est corrosif pour les yeux et la peau et toxique par inhalation et ingestion. Ce traitement doit faire l'objet d'une inscription sur le registre de cave.

Filtration de finition

Elle est réalisée en ligne, juste avant le tirage par filtre à plaques très serrées (ou stérilisantes) ou filtre à membrane (0,45 ou 0,65 µm). Son objectif est d'assurer la quasi-rétention de levures et bactéries afin d'éviter tout risque de refermentation et d'obtenir la limpidité cristalline du vin blanc (turbidité < 1 NTU).

Gaz dissous

Solubilité et dissolution de l'oxygène et du gaz carbonique

Les échanges gazeux entre le vin et son atmosphère sont régis par la recherche d'équilibre des pressions partielles entre les deux phases. À une température donnée, la pression partielle d'un gaz est proportionnelle à sa concentration à l'équilibre dans le liquide (loi de Henry). Dans le cas général de l'air, supposé 100 % humide au voisinage du vin, le vin aura tendance à dissoudre de l'oxygène et à perdre du gaz carbonique.

25788_vins_blancs.indb 218 13-10-11 12:23 PM

À 20 °C et 1 013 hPa et sous atmosphère d'air 100 % humide, la solubilité maximale de l'oxygène est de 9,1 mg/L dans l'eau et de 8,4 mg/L dans le vin. Celle du CO_2 est de 0,64 mg/L. Mais sous atmosphère de CO_2 pur, la solubilité du CO_2 passe à 1 688 mg/L dans l'eau et à 1 462 mg/L dans un vin sec à 12 % vol.

À pression constante, la concentration en gaz dissous augmente proportionnellement à la pression, tandis qu'elle croît exponentiellement avec la baisse de la température. À 0 °C, la solubilité est multipliée par 1,6 pour O_2 et par 1,8 pour CO_2. Les enrichissements du vin en O_2 de l'air et les pertes en CO_2 du vin dans l'air seront donc d'autant plus rapides que la surface de la phase liquide ainsi que la finesse et la persistance de son émulsion avec l'air seront plus grandes et que la teneur initiale sera faible (loi de Fick). Les basses températures sont dans une moindre mesure des facteurs favorisant la vitesse de diffusion.

Consommation de l'oxygène et pertes en CO_2

Produit principalement pendant les vinifications, la teneur en CO_2 va diminuer au cours de la conservation et des différents traitements subis par le vin, à cause de la recherche d'équilibre avec la pression partielle en CO_2 de l'atmosphère en contact avec le vin. Or le gaz carbonique joue un rôle essentiel favorable ou non sur les caractères organoleptiques en fonction du type de vin, même dans le cas où sa teneur est inférieure à son seuil de perception (500 mg/L). Finalement, la teneur en CO_2 en bouteille devra être ajustée entre 700-1 500 mg/L pour la majorité des vins blancs.

La présence de l'oxygène dans les vins, à la suite de sa dissolution, n'est pas un état stable dans le temps. L'oxygène dissous est progressivement consommé par divers substrats, surtout les polyphénols. La disparition des arômes floraux est plus rapide sous l'effet des apports d'oxygène même à 15 °C et au niveau organoleptique les altérations aromatiques arrivent avant les altérations chromatiques. La capacité totale cumulée d'absorption d'oxygène jusqu'à l'apparition du caractère oxydé se situe aux environs de 85 mg/L pour un vin blanc. Un vin saturé en oxygène consomme 80-90 % de l'oxygène dissous en l'espace d'une à quatre semaines. Les cinétiques sont trois fois plus lentes pour les vins blancs que pour les vins rouges. L'augmentation du pH accroît fortement cette cinétique, probablement en raison de la plus grande proportion d'ions phénolate alors susceptibles d'être oxydés. Au contraire des phénomènes de dissolution, la vitesse de consommation augmente quand la température augmente. À la vue des évolutions décrites des deux principaux gaz dissous, il paraît logique de prévoir une mise en bouteille précoce pour les vins blancs sensibles à l'oxydation.

Apports d'oxygène dissous au cours des traitements des vins

Le niveau d'oxygène dissous présent à un moment donné dans les vins dépend de la cinétique de sa dissolution et de celle de sa consommation. Lorsqu'on applique un mouvement à un vin (soutirage, pompage, filtration…), la cinétique de dissolution de l'oxygène de l'air au contact du vin est supérieure, en général, à celle de la consommation par les constituants du vin ; on mesure alors des teneurs en oxygène dissous de l'ordre d'un à plusieurs mg/L (*tableau 4.19*).

De façon générale, l'enrichissement global final dépend beaucoup du rapport entre le volume de vin à traiter et le volume du circuit ainsi que des conditions de mise en œuvre. Les enrichissements les plus importants se produisent surtout pendant les opérations de stabilisation tartrique par le froid et au cours de la mise en bouteille, en particulier si aucune protection n'est prise pour protéger le vin de l'oxygène de l'air ambiant.

25788_vins_blancs.indb 219 13-10-11 12:23 PM

Quant à l'oxygène piégé au conditionnement dans l'espace de tête, les essais effectués indiquent que la quantité d'oxygène dans l'espace de tête juste après l'obturation varie de 0,38 à 4,30 mg/bouteille, auquel il faut rajouter l'oxygène dissous dans le vin dont les valeurs mesurées varient de 0,5 à 6 mg/L. Par la suite, en régime statique (vins au repos en cuve, en bouteille...), la cinétique de dissolution devient inférieure à celle de la consommation, de sorte que les concentrations en oxygène dissous au sein du vin sont très faibles, comprises dans la fourchette moyenne de 10 à 40 µg/L. Les échanges gazeux sont alors limités à la surface du vin au contact d'une phase gazeuse et à celle directement au contact du matériau contenant (barrique, bouteille/bouchon, film/robinet...).

Tableau 4.19 : Récapitulatif bibliographique des apports en oxygène par opération

Opérations	Apports en oxygène dissous moyen en mg/L			
	Vidal *et al.* (2001, 2003, 2004, 2006)	Valade *et al.* (2006, 2007)	Castellari *et al.* (2004)	Dieval (2006)
Soutirage par le bas (15-20 °C)		0,30	0,37	
Soutirage par le haut (15-20 °C)		3,10	0,37	
Soutirage par le bas (5-10 °C)			1,30	
Encollage puis relevage de colle				1,36-1,47
Pompage	0,1 à 0,2		0,10	1,41
Assemblage de barriques			1,75	
Filtration à alluvionnage continu	0,70	0,70	0,24	0,79
Filtration sur plaques/lenticules	0,20	0,50	0,04	
Filtration à cartouche	0,10		0,06	
Filtration tangentielle	1,50		0,20	
Centrifugation	1,00	0,95	1,20	
Réfrigération			1,30	
Chauffage par échangeur			0,15	
Stabilisation THK en continu	2,40	1,20	4,00	
Stabilisation THK par stabulation	2,38 + 5,70*			
Stabilisation THK par contact	2,43			1,66
Électrodialyse	1,30		0,28	
Mise en bouteille fixe dissous gazeux (mg/bouteille)	1,60 0,38 à 4,3	2,0 à 7,0**		1,00 0,27 à 1,86
Mise en Bag-in-Box	0,50			

* 5,70 mg/L : estimation de l'oxygène dissous consommé pendant la stabulation.

** Sur vins effervescents, oxygène consommé par les levures.

25788_vins_blancs.indb 220 13-10-11 12:23 PM

Évolution de l'oxygène dissous et gazeux des vins embouteillés

À la suite de l'embouteillage, une quantité très variable d'oxygène est piégée dans l'espace de tête et dissoute dans le vin. Cette quantité dépend principalement de la teneur en oxygène dissous du vin dans la cuve de tirage, de la qualité de la chaîne d'embouteillage vis-à-vis de la protection contre la contamination de l'oxygène atmosphérique durant toutes les opérations (inertage ou pas des bouteilles avant, pendant le tirage et au bouchage) et des conditions opératoires (*tableau 4.20*). Aux conditions œnologiques de température et de pression (aux alentours de 15-20 °C et 1 013 hPa) durant lesquelles le vin consomme l'oxygène, le transfert d'oxygène se fait toujours, quelle que soit la date d'observation de l'air atmosphérique, vers l'espace de tête puis vers le vin, c'est-à-dire de la pression partielle en oxygène la plus grande à la plus petite et inversement pour le gaz carbonique pour la même raison. À l'instant du bouchage, l'absence de vide sans utilisation de gaz d'inertage est responsable d'une augmentation de la quantité d'oxygène piégée dans l'espace de tête mesuré jusqu'à 4,3 mg/bouteille (*cf. tableau 4.20*). L'élévation de la pression interne, dépendante des conditions de bouchage, induit une dissolution d'oxygène plus rapide par la surface de contact espace de tête/vin.

Au cours de la première semaine de stockage, l'écart important des pressions partielles en oxygène entre les deux phases provoque une dissolution d'oxygène de l'espace de tête vers le vin de sorte que la teneur en oxygène dissous après quelques jours devient ponctuellement supérieure à la teneur initiale. Durant cette même période, la teneur en oxygène total dépasse souvent la teneur initiale à cause d'un apport d'oxygène expulsé du bouchon sous l'effet de sa compression dans le goulot de la bouteille. Puis, au cours du premier et du deuxième mois, alors que les échanges gazeux à travers le bouchon se stabilisent, la consommation de l'oxygène piégé au conditionnement est le phénomène principal sous la dépendance de la température de stockage et la teneur du vin en molécules réductrices de l'oxygène.

Une fois la quasi-totalité de l'oxygène initial disparu, les teneurs en oxygène gazeux et dissous dans la bouteille se stabilisent à des niveaux très faibles, de l'ordre de quelques microgrammes à quelques dizaines de microgrammes en fonction de l'OTR (*Oxygen Transmission Rate*) de l'obturateur pour un vin donné. Toutefois, à la vue des contrôles effectués, on ne peut exclure l'hypothèse que ces valeurs puissent fluctuer sous l'influence de faibles variations des conditions de conservation (température, hygrométrie, lumière, pression).

Les cinétiques des échanges gazeux dans une bouteille de vin ont des conséquences sur les constituants du vin. En effet, les pertes en SO_2 libre les plus importantes se produisent dans les 15-30 premiers jours, car elles sont corrélées positivement avec l'oxygène piégé au conditionnement et celui relargué par le bouchon. Ensuite, la baisse de la concentration en SO_2 libre est plus faible car liée à la perméabilité du bouchon. Les phénomènes oxydatifs liés à la consommation de l'oxygène par le vin se traduisent par une perte conséquente en arômes sensibles à l'oxydation comme les composés à fonction sulfanyle avant d'altérer la couleur du vin (saturation de la couleur et évolution de la teinte) (Singleton *et al.*, 1979).

Une étude expérimentale menée sur un vin blanc de Sauvignon en bouteille a mis en évidence l'impact direct de mauvaises conditions de mise en bouteille (teneur en oxygène dissous élevée et bouchage sans le vide et sans gaz d'inertage, même bouchon) sur la quantité d'oxygène total et donc sur les pertes en SO_2 libre (Vidal et Moutounet, 2011 ; *figure 4.27*). Sur les bouteilles contenant 6,31 mg en oxygène total juste après bouchage, les pertes en SO_2 libre s'élevaient à 44 % au bout d'un mois tandis que sur les bouteilles contenant 1,31 mg, ces mêmes pertes n'étaient que de 17 %. Au bout de dix-huit mois de conservation à 17 °C, la teneur moyenne en SO_2 libre des bouteilles tirées dans de bonnes conditions était de 18 au lieu de 10 mg/L pour l'autre modalité.

25788_vins_blancs.indb 221 13-10-11 12:23 PM

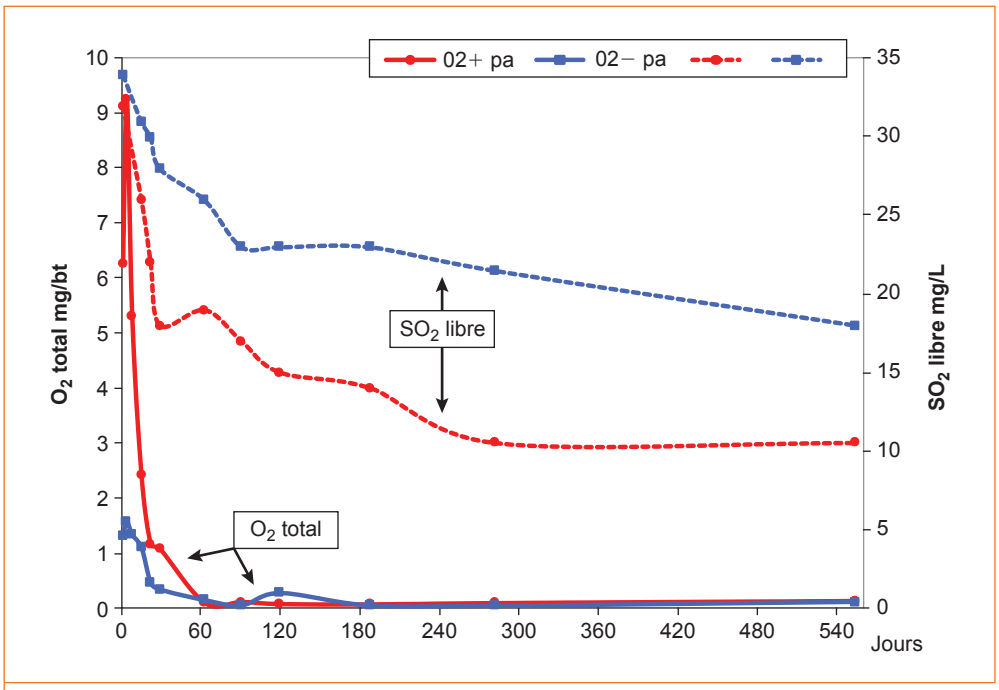


Figure 4.28 : Évolution de l'oxygène total et du SO_2 libre sur un Sauvignon en bouteille

Tableau 4.20 : Conseils pratiques pour réduire la teneur en oxygène en bouteille

Opération ou matériel	Conseil	Objectif
Cuve de tirage	En hauteur par rapport à la ligne de conditionnement	Éviter la cavitation de la pompe centrifuge ou court-circuiter la pompe d'alimentation et la cuve tampon
	Proche du local d'embouteillage	Réduire la longueur du circuit pour diminuer son volume
	Inerter la cuve avant remplissage (gaz neutre ou bâtonnets de CO_2) et la maintenir sous gaz neutre	Appauvrir en oxygène la phase gazeuse en contact avec le vin pour limiter la dissolution
	Amener la teneur en oxygène dissous à moins de 0,5 mg/L, par injection de gaz au remplissage de la cuve ou par barbotage avec canne de brassage	Diminuer la teneur finale en oxygène dissous en bouteille
	Choisir une cuve dont le volume est égal ou légèrement supérieur au volume à conditionner	Limiter la vidange de la cuve et la consommation de gaz d'inertage
Tuyauterie	La plus courte possible et en acier inoxydable imperméable à l'oxygène. Limiter l'utilisation des tuyaux souples	Réduire la longueur du circuit pour diminuer son volume. Éviter les prises d'air au niveau des raccords en aspiration de la pompe

25788_vins_blancs.indb 222 13-10-11 12:23 PM

Tableau 4.20 : Conseils pratiques pour réduire la teneur en oxygène en bouteille (*suite*)

Opération ou matériel	Conseil	Objectif
Tuyauterie	Adapter le diamètre au débit exigé par la cadence d'embouteillage	Limiter les phénomènes de turbulence et les tuyaux à moitié vides
	Purges situées sur les points hauts de la canalisation	Permettre une meilleure évacuation de l'air par inertage et une tuyauterie pleine de vin
	Limiter le plus possible les coudes et la tuyauterie suspendue au plafond	Obtenir un meilleur inertage et remplissage des canalisations
	Contrôler la teneur en oxygène résiduel après inertage au niveau des purges, une fois par installation	Pour déterminer un temps d'inertage nécessaire pour atteindre un seuil de 2 % v/v en oxygène gazeux dans le circuit
Démarrage du tirage	Inerter le circuit	Limiter l'augmentation de l'apport au démarrage
	Aviner le circuit (tireuse comprise), sans retour à la cuve de tirage	
Inerteuse	Régler le vide à – 90 KPa	Éliminer 90 % de l'oxygène contenu dans la bouteille avant injection de gaz neutre
	Injection de gaz neutre entre 1 et 5 g/bouteille selon la cadence, la nature du gaz	Obtenir une bouteille pleine de gaz neutre juste avant l'emplissage
	Adapter la qualité du gaz d'inertage en fonction de la teneur en CO_2 du vin	Favoriser l'équilibre des pressions partielles entre la phase gazeuse et le vin et donc réduire la dissolution d'oxygène et les pertes en CO_2 à l'emplissage
Tireuse	Régler le vide à – 8 kPa	Limiter la dépression causée par la mise à niveau du liquide dans la bouteille
Boucheuse	Balayage au CO_2 car plus soluble dans le vin que N_2	Limiter le risque de surpression et diminuer la teneur en oxygène de la chambre à air de la bouteille
	Régler le vide à – 80 à 90 kPa	
Capsuleuse	Injection d'azote liquide après tirage ou injection de CO_2 à l'intérieur de la capsule à vis	Diminuer sensiblement le taux d'oxygène de l'espace de tête
Fin de tirage	Pousse au gaz neutre	Limiter l'augmentation de l'apport en fin de tirage
Obturateurs	Choix d'OTR	Adapter l'OTR avec la qualité du vin et la durée de conservation
	Vérifier l'homogénéité de l'OTR	Limiter l'oxydation sporadique postembouteillage
Bouteilles	Vérifier les dimensions des goulots	Limiter les problèmes au bouchage, diminuer l'étanchéité à l'oxygène atmosphérique et bouteilles couleuses
	Choisir des formats de bouteille avec des hauteurs minimales de dégarni	Limiter le volume de l'espace de tête de façon compatible avec le risque de surpression due à une élévation forte de la température pendant le transport ou la conservation

25788_vins_blancs.indb 223 13-10-11 12:23 PM

Types de conditionnement

Le conditionneur doit avoir à l'esprit que l'évolution vers la multiplicité des types de conditionnement (bouteille verre ou PET, tube, verre, *Bag-in-Box*, poche...) et le fractionnement des volumes conditionnés auront un impact sur les teneurs en gaz dissous et donc sur la date limite d'utilisation optimale du vin (DLUO).

Premièrement, les apports d'oxygène gazeux et dissous et la conservation du CO_2 différent d'un mode de conditionnement à un autre, impactant ainsi la DLUO du vin. Sur les *Bag-in-Box*, l'apport d'oxygène au cours du conditionnement est plus faible qu'en bouteille car l'outre est « vide d'air », mais la teneur en CO_2 est souvent limitée à 1 000 mg/L environ afin d'éviter tout gonflement du BIB en cas d'élévation ultérieure de la température. À l'opposé, un vin en magnum devrait évoluer moins vite qu'un vin en bouteille de 75 cL, car pour un volume d'espace de tête et une surface de contact vin/espace de tête identiques, le volume de vin est doublé. Vasserot *et al.* ont mis en évidence qu'au cours de sa deuxième fermentation en bouteille, les teneurs en SO_2 et en sulfure de diméthyle (DMS) d'un Champagne étaient plus élevées et son potentiel redox plus bas en bouteille de 75 cL qu'en 37,5 cL (Vasserot *et al.*, 2001).

Deuxièmement, la perméabilité aux gaz varie d'un contenant à l'autre et peut également croître avec la température et l'humidité relative. L'OTR varie de 0,05 à 15 mg/an selon l'obturateur et le mode de mesure (Karbowiak *et al.,* 2009). De façon générale, les capsules sont les moins perméables avec les bouchons techniques, mais il faut être capable d'appauvrir l'espace de tête en oxygène avant sertissage. Puis viennent les bouchons naturels à l'OTR moins homogènes et enfin les synthétiques. Plusieurs auteurs ont par ailleurs montré que l'augmentation de l'OTR était liée à une diminution du SO_2 et une augmentation de l'absorbance à 420 nm. L'homogénéité de l'OTR ainsi que la régularité des goulots des bouteilles doivent aussi être surveillées pour limiter l'oxydation sporadique d'un lot de bouteilles rempli plusieurs mois auparavant. Sur les BIB, une fois que la quasi-totalité de l'oxygène total piégé au départ a été consommée, les teneurs en oxygène de la phase gazeuse et surtout de la phase dissoute se stabilisent à des niveaux nettement supérieurs à ceux en bouteille. Les pertes en gaz carbonique sont plus importantes, surtout quand la température augmente. Cela confirme que les échanges gazeux sont plus intenses en *Bag-in-Box* car l'ensemble film-robinet est plus perméable qu'un bouchon ou une capsule. La diffusion plus grande d'oxygène est responsable de pertes en SO_2 libre et d'une évolution de la couleur plus forte. La DLUO d'un vin en BIB est inférieure de plusieurs mois à celle en bouteille avec en plus une teneur initiale en CO_2 inférieure de 100-200 mg/L et en SO_2 libre supérieure de 10-20 mg/L.

Paramètres de conservation des vins conditionnés

Température

La vitesse de réaction chimique double quand la température augmente de 10 °C. Au bout de neuf mois, un vin de Chardonnay conservé en bouteille présente des pertes en CO_2, SO_2 libre et total plus élevées avec une augmentation de l'A420 respectivement de 6, 15, 11, 15 % à 30 °C qu'à 15 °C (Boulet et Vidal, 2004).

Ferreira *et al.* (2002) ont montré que la température et l'oxygène sont les deux principaux facteurs de détérioration des vins blancs, amplifiée par un pH bas. Cette synergie de paramètres défavorables entraîne une baisse des alcools terpéniques, des arômes floraux et favorise le développement de faux goûts de miel, de patate bouillie et d'aliments pour animaux. Il a en outre été observé qu'une température de 5 °C permet de conserver les thiols volatils

25788_vins_blancs.indb 224 13-10-11 12:23 PM

d'un Sauvignon blanc (Vidal et Moutounet, 2011). Makhotkina *et al.* (2012) ont confirmé et étayé ce phénomène.

Une étude sur des bouteilles de vin synthétique transportées en container a montré que l'exposition à des températures et des variations de températures élevées entraînait un vieillissement accéléré corrélé positivement avec l'augmentation de la teneur en éthyl carbamate (Butzke *et al.*, 2012). L'effet d'une température constante basse (14 °C) prime sur l'effet lumière et sur l'effet position bouteille pour les caractéristiques analytiques et sensorielles de vins rosés et rouges, surtout après dix-huit mois (Puech *et al.*, 2006).

Pour résumer, une température constante inférieure à 10 °C permet de ralentir les réactions d'oxydation auxquelles sont sensibles les vins blancs à boire jeune. Néanmoins, à cause du coût énergétique d'une telle pratique et aussi parce que d'autres vins blancs supportent ou s'améliorent au cours de l'oxydation ménagée, la température moyenne à recommander est de 13 ± 2 °C. Dans tous les cas, il faut éviter les écarts brutaux de température.

Hygrométrie

Une humidité relative comprise entre 70 et 80 % est surtout recommandée pour les bouchons en liège. En cas d'atmosphère trop sèche, le bouchon peut se rétracter, entraînant une pénétration d'air supplémentaire à l'intérieur de la bouteille. Inversement, un local trop humide favorisa l'apparition de moisissures sur les bouchons et les odeurs de moisi.

Lumière

La lumière et plus particulièrement les rayons ultraviolets accélèrent fortement les réductions, surtout sur les vins blancs sulfités. La casse cuivrique est très accentuée à la lumière. Une étude de l'ICV a prouvé que des vins conservés en bouteilles de couleur claire perméables aux UV (mi-blanc, feuille morte) ont des teneurs en CO_2, SO_2 et des notes florales et fruitées plus basses à vingt-quatre mois que ceux en bouteilles de couleur foncée (Champagne, antique). Lors d'un suivi expérimental, l'INRA a observé que le même vin en bouteille mi-blanc conservé à 20 °C à la lumière a consommé 97 % de l'oxygène total initial (5,2 mg/bouteille) en cinquante jours au lieu de quatre-vingt-dix pour celui conservé à l'obscurité.

Position bouteille

À ce jour, il n'existe pas de consensus sur l'effet de la position de la bouteille sur les transferts d'oxygène et sur le vieillissement du vin au cours de la conservation sur plusieurs années.

Conclusions

De par leur profil aromatique, leur sensibilité à l'oxydation, la préservation du gaz carbonique, le conditionnement des vins blancs en général requiert une maîtrise accrue des paramètres cités afin de garantir la DLUO et de réduire au maximum l'hétérogénéité dans un même lot.

25788_vins_blancs.indb 225 13-10-11 12:23 PM

16 Vieillissement des vins blancs

Le vieillissement des vins est la dernière étape de la vinification avant la consommation. Dans cette partie, ne seront développés que les aspects défectueux liés au vieillissement prématuré des vins blancs secs. Les aspects qualitatifs du vieillissement des vins blancs en général ont été développés dans la partie 2.

L'aptitude à la conservation, la capacité à vieillir tout en développant son originalité est un facteur déterminant de la valeur du vin. En effet, que signifie bien vieillir pour un vin ? Comme pour l'homme, c'est certes paraître « raisonnablement » plus jeune que son âge mais surtout être plus intéressant que quelques années plus tôt !

Le vin est certainement la plus culturelle et la plus symbolique des boissons. L'homme s'identifie facilement à ce qu'il mange mais plus encore à ce qu'il boit. « Nous sommes convaincus intimement, magiquement, écrivait en 1998, le sociologue Claude Fischler, que nous sommes ce que nous mangeons, qu'un rapport d'identité, d'analogie nous lie à ce que nous absorbons. » Quand nous aimons un vin juste, au goût typique de son origine, nous nous imprégnons des paysages, de la culture et de l'histoire du lieu qui l'a vu naître, de la personnalité et de la philosophie des hommes qui l'ont élaboré. En savourant un millésime ancien qui a bien vieilli, nous « absorbons » et nous approprions magiquement sa merveilleuse capacité à résister au temps, à retarder « des ans l'irréparable outrage ». C'est sûrement l'une des raisons majeures pour laquelle les vins de prix ne peuvent être que des vins de garde. *A contrario*, amère est la déception de l'amateur découvrant que tel ou tel des vins chers de sa cave vieillit mal. Il éprouve le sentiment d'avoir été trompé.

On associe généralement le vieillissement défectueux à une oxydation prématurée dont la contraction en « premox » est largement utilisée aujourd'hui en anglais pour qualifier un vin trop tôt vieilli ou évoquer le problème du vieillissement prématuré. Quand on ouvre une bouteille, la question à la mode c'est : « *premox or not premox* ? ». Ce sujet soulève actuellement beaucoup d'interrogations et alimente rumeurs et controverses.

Caractérisation du premox des vins blancs

Un vin blanc de garde se caractérise par son aptitude à préserver au cours de sa conservation en bouteille les arômes du ou des cépage(s) dont il est issu et à développer des nuances aromatiques particulières (empyreumatiques, minérales, truffées) qui constituent le « bouquet » des grands vins blanc.

Hélas, ce vieillissement idéal des vins blancs est loin d'être général. La plupart d'entre eux perdent rapidement leurs arômes fruités et développent des odeurs plus lourdes évoquant le miel, la cire d'abeille, l'encaustique, la résine de pin. Cette évolution aromatique s'accompagne toujours d'une augmentation de la teinte jaune orangée de la couleur du vin et d'une sensation d'amertume en fin de bouche.

25788_vins_blancs.indb 226 13-10-11 12:23 PM

Ce « vieillissement oxydatif » est très banalisant ; il efface le terroir aussi sûrement que le bouquet de vieillissement réducteur le révèle. Évidemment, c'est lorsqu'il touche des grands vins blancs, réputés capables d'une longue garde, comme les Bourgognes blancs, que le premox est le plus préjudiciable. Mais croire que cette déviation affecte particulièrement les Bourgognes blancs, selon un processus spécifique et mystérieux, est sans fondement. Le premox concerne tous les vins blancs, tranquilles ou effervescents, secs ou liquoreux, quel que soit le cépage ou l'origine. Le phénomène est le même, dans ses effets comme dans ses causes.

Les travaux réalisés sur ce sujet au début des années 2000 à la Faculté d'œnologie de l'université de Bordeaux, ont permis d'identifier les molécules caractéristiques du profil aromatique des vins blancs prématurément vieillis, d'étudier leurs voies de formation, les circonstances de la vigne à la bouteille favorisant cette déviation et évidemment, les moyens à mettre en œuvre pour s'en prémunir.

Les premiers travaux initiés sur ce sujet avaient permis d'identifier trois composés dans les vins blancs secs prématurément vieillis. Le méthional à odeur de pomme de terre bouillie, formée par dégradation oxydative de la méthionine (Escudero, 2000b), le phénylacétaldéhyde, dont l'arôme rappelle la rose fanée et le miel provenant de la phénylalanine, également par voie oxydative (Ferreira *et al.*, 2003a) et la 2-aminoacetophénone, à odeur de naphtaline et d'encaustique, initialement identifiée dans les vins blancs allemands victimes du vieillissement atypique *Untypische alterung note* (UTA). Cette dernière est formée par dégradation oxydative de l'acide indolacétique (Rapp, 1993).

Pourtant, ces molécules n'expliquent pas à elles seules le vieillissement aromatique défectueux des vins blancs. Nombre de vins blancs premox n'en contiennent pas, ou des teneurs inférieures à leurs seuils de perception. Il a en effet été démontré ultérieurement que le sotolon (4,5-dimethyl-3-hydroxy-2(5)H-furanone) était le composé clé de l'arôme de vieillissement prématuré des vins blancs secs (Lavigne-Cruège et Dubourdieu, 2002) (*figure 4.29*).

Le sotolon participe aussi à l'arôme des vins jaunes du Jura et des vins de Xérès (Dubois *et al.*, 1976 ; Guichard *et al.*, 1993), ainsi qu'aux nuances « figues sèches » et rancio des vins doux naturels (VDN) et des vins de porto (Cutzach *et al.*, 1998b ; Silva Ferreira *et al.*, 2003). Lorsqu'ils ont plus de vingt ans, les vins de ce type peuvent contenir jusqu'à 1 mg/L de sotolon. Sa présence a également été détectée dans les vins blancs issus de vendanges botrytisées (Masuda, 1984 ; Sarazin *et al.*, 2007).

Les seuils de perception, établis à partir du mélange racémique commercial, en solution hydroalcoolique et dans un vin blanc sec sont respectivement de 2 µg/L et 7 µg/L (Lavigne-Cruège et Dubourdieu, 2002). Cette furanone, évoquant à la fois le curry et la noix, est très odorante.

La molécule de sotolon possède un carbone asymétrique. Il existe donc deux énantiomères (R et S) de ce composé (*figure 4.30*).

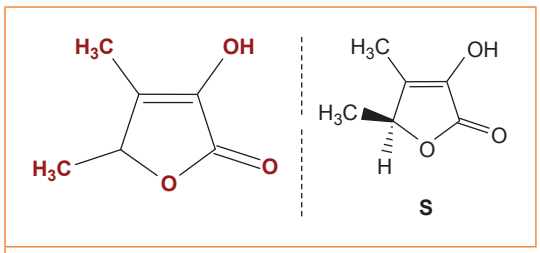


Figure 4.29 : 3-hydroxy-2(5H)-furanone (sotolon)

25788_vins_blancs.indb 227 13-10-11 12:23 PM

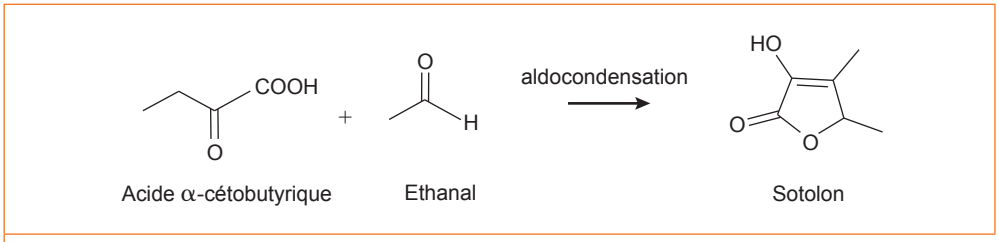


Figure 4.30 : Formes énantiomères du sotolon

Chacun d'eux présente des propriétés olfactives différentes. Le seuil de perception de la forme S, en solution hydroalcoolique, est de 0,8 µg/L ; celui de la forme R de 89 µg/L (*tableau 4.21*). Les nuances aromatiques des énantiomères sont assez proches. L'arôme du (S)-sotolon rappelle nettement des odeurs puissantes de curry et de noix ; celui du (R)-sotolon évoque plutôt la noix rance. C'est donc la forme S qui confère au sotolon son arôme et ses propriétés organoleptiques.

La répartition des énantiomères du sotolon varie d'un vin à l'autre : dans certains vins, les formes R et S du sotolon sont en proportions égales (mélange racémique) ; d'autres vins contiennent un excès de l'une ou l'autre forme (Pons *et al.*, 2008).

Ainsi, selon la proportion de chaque énantiomère dans les vins blancs présentant une évolution oxydative de leur arôme, l'impact aromatique du sotolon sera plus ou moins important. Pour les teneurs en sotolon rencontrées dans les vins blancs secs, le plus souvent inférieurs à 10 µg/L, seule la forme S participe à l'odeur du vin.

Le sotolon est formé par une réaction d'aldocondensation entre l'acide a-cétobutyrique et l'acétaldéhyde (*figure 4.31*). L'acide a-cétobutyrique, précurseur du sotolon, est présent dans tous les vins. Il peut provenir du métabolisme de la levure au cours de la fermentation alcoolique ou encore de la dégradation oxydative de l'acide ascorbique (Pons *et al.*, 2010). Les teneurs en acétaldéhyde des vins sont quant à elles aggravées par l'oxydation. On comprend ainsi la nécessité absolue, pour le vinificateur, d'éviter l'oxydation à tous les stades de l'élaboration du vin blanc.

Tableau 4.21 : Seuils de perception et descripteurs olfactifs des énantiomères du sotolon

	Seuil de perception (µg/L)	Descripteur
R	89	Noix, rance
S	0,8	Curry, noix
Racémique	2	Curry, noix

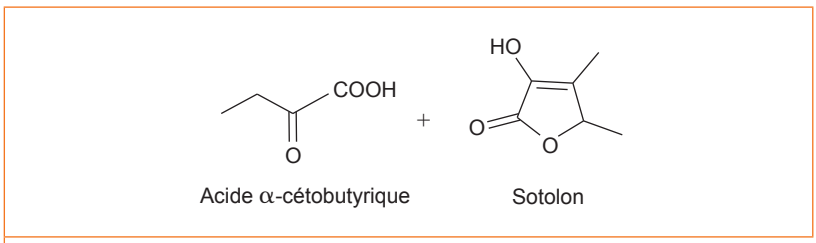


Figure 4.31 : Voie de formation du sotolon dans les vins blancs secs (Pons* et al.*, 2010)

25788_vins_blancs.indb 228 13-10-11 12:23 PM

Le glutathion, protecteur naturel du vieillissement prématuré des vins blancs

Quels sont les composés susceptibles de protéger les vins d'une évolution oxydative prématurée ? Dans les vins rouges, l'efficacité des polyphénols fortement réducteurs pour protéger le vin jeune des phénomènes oxydatifs pouvant nuire à son arôme au cours de l'élevage est bien connue. Dans le cas des vins blancs, nous avons mis en évidence le rôle décisif du glutathion dans la prévention du vieillissement défectueux de leur arôme.

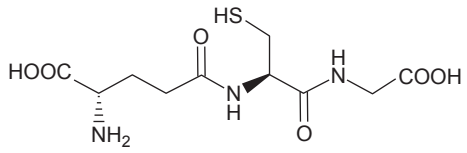


Figure 4.32 : Formule semi-développée du glutathion (Glu-Cys-Gly)

Glutathion dans les moûts et les vins

La présence de quantités importantes de glutathion dans les baies de raisins a été mise en évidence par Cheynier *et al.* (1989) et Liyanage *et al.* (1993). Il existe une très bonne corrélation entre les teneurs en glutathion des moûts et leurs teneurs en azote assimilable. Les vignes trop faibles, mal alimentées en azote, produisent des raisins pauvres en glutathion. La sécheresse estivale et/ou la concurrence exercée par l'enherbement aggravent ce déficit.

Compte tenu de la grande réactivité du glutathion vis-à-vis des composés phénoliques et de l'oxygène, les teneurs retrouvées dans les moûts sont très variables. Quelques milligrammes à une trentaine de milligrammes par litre de glutathion sous sa forme réduite peuvent cependant être retrouvés dans des jus de raisins blancs extraits dans les conditions de la pratique.

Dans les premiers jours de la fermentation alcoolique, la teneur en glutathion du moût diminue, pour augmenter à nouveau après quelques jours de fermentation. Cette augmentation progressive de la concentration en glutathion se poursuit après le sulfitage du vin, pour se stabiliser un mois environ après l'achèvement de la fermentation alcoolique (*figure 4.33*).

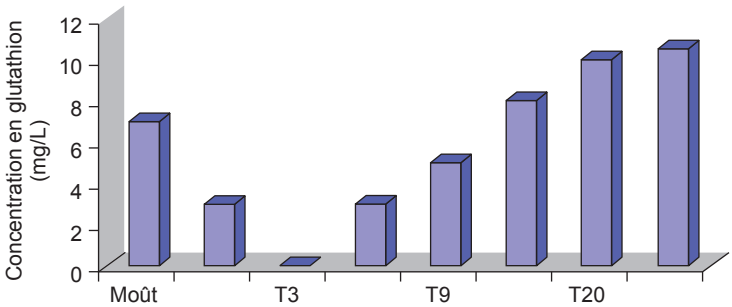


Figure 4.33 : Évolution de la teneur en glutathion des moûts au cours de la fermentation

25788_vins_blancs.indb 229 13-10-11 12:23 PM

Tout se passe comme si la levure utilisait le glutathion disponible dans le moût pendant sa phase de croissance, puis le libérait en fin de fermentation alcoolique. Il existe d'ailleurs, dans le cas de fermentations alcooliques complètes et relativement rapides, une bonne corrélation entre la teneur initiale du moût en glutathion et celle retrouvée dans le vin en début d'élevage.

Ainsi, lorsqu'il est conservé sur lies, le vin blanc acquiert au début de son élevage un « potentiel réducteur ».

Teneur en glutathion des vins et leur évolution aromatique

Le vieillissement aromatique prématuré des vins blancs secs peut se manifester pendant l'élevage ou plus tard au cours de la conservation en bouteille.

Les vinificateurs savent bien que le maintien des vins blancs sur lies au cours de leur élevage permet de protéger l'arôme fruité de l'oxydation et de retarder la manifestation du vieillissement défectueux. Ces observations, maintes fois répétées, sont explicitées par une expérimentation simple.

Nous avons suivi, dans un vin blanc de Sauvignon, conservé en barrique neuve ou usagée, sur lies totales ou en l'absence de lies, l'évolution simultanée du glutathion, des thiols volatils (4-méthyl-4-mercaptopentanone, ou 4MMP, et 3-mercaptohexanol ou 3MH), composés clés de l'arôme des vins de Sauvignon (Tominaga *et al.*, 2000), et du sotolon, marqueurs du vieillissement défectueux des vins blancs secs.

Selon les modalités d'élevage mises en œuvre (*tableau 4.22*), le potentiel réducteur du vin, évalué par sa teneur en glutathion, est plus ou moins bien préservé. Elle diminue de façon très importante en l'absence de lies, particulièrement lorsque le vin est conservé en fût neuf (Lavigne *et al.*, 2006). À la fin de l'élevage la teneur en 3MH, composé volatil dont l'arôme évoque le pamplemousse, diminue dans des proportions considérables lorsque le vin est conservé sans lies. Les concentrations en 4MMP sont plus stables. Elles diminuent toutefois d'un facteur deux, dans la barrique neuve soutirée, c'est-à-dire dans les mêmes conditions d'élevage qui diminuent le plus le potentiel réducteur du vin. Ces résultats montrent clairement l'effet protecteur des lies vis-à-vis de l'arôme fruité des vins jeunes.

La présence des lies au cours de la conservation des vins blancs secs en barriques retarde également l'apparition des composés odorants marqueurs du « premox ». C'est en absence de lies et en barrique neuve que la teneur en sotolon du vin est la plus élevée (Lavigne *et al.*, 2008).

Ces résultats montrent que les lies sont susceptibles de limiter la formation du sotolon au cours de l'élevage et de préserver l'arôme des vins blancs secs d'une évolution prématurée.

Tableau 4.22 : Teneurs en 4MMP, 3MH, glutathion et sotolon d'un vin de Sauvignon élevé en fût selon différentes modalités, en fin de l'élevage

	Glutahion (mg/L)	4MMP (ng/L)	3MH (ng/L)	Sotolon (µg/L)
Barrique usagée	5,8	13	1 318	1
Barrique usagée soutirée	3,1	10,1	717	2,6
Barrique neuve	4,8	8,3	1 235	4
Barrique neuve soutirée	2	5,5	520	8,2

25788_vins_blancs.indb 230 13-10-11 12:23 PM

Ainsi, les conditions les plus favorables à la préservation des qualités aromatiques des vins blancs secs sont celles qui limitent la diminution de leur teneur en glutathion. Le rôle protecteur des lies vis-à-vis du vieillissement aromatique défectueux, tient à deux phénomènes : leur aptitude à libérer et à préserver le glutathion, d'une part, leur capacité consommer l'oxygène, d'autre part (Salmon *et al.*, 1999). En effet, si l'on compare la consommation d'oxygène d'un vin blanc sur lies, ou du même vin blanc après filtration, le rôle des lies dans la consommation de l'oxygène apparaît clairement. Un vin sur lies consomme l'oxygène 60 000 fois plus vite qu'un vin sans lies.

La capacité réductrice, et donc protectrice des lies, est considérable (*tableau 4.23*).

Évolution prématurée de l'arôme des vins blancs en bouteille

C'est évidemment en bouteille que le vieillissement défectueux des vins blancs se révèle le plus souvent. Le plus déconcertant dans le phénomène premox à ce stade est sa variabilité d'une bouteille à l'autre. Ainsi, dans l'exemple donné à la *figure 4.34*, si l'on demande à un jury de dégustateurs d'évaluer le caractère oxydatif de douze bouteilles d'un même vin blanc bouché liège (même millésime, même jour de mise en bouteille, même type d'obturateur), certaines bouteilles sont jugées très évoluées, alors que d'autres ne présentent aucun signe de vieillissement prématuré.

Cette évolution *a priori* aléatoire de l'arôme du vin est corrélée à la quantité d'oxygène dissous mesurée dans la bouteille. De même, plus l'arôme du vin blanc est jugé « oxydé » par les dégustateurs, plus les nuances jaune orangé de sa couleur sont intenses. Enfin les bouteilles premox accusent des teneurs en SO_2 libre plus basses. Naturellement, la présence de sotolon, est également très bien corrélée à l'intensité du caractère oxydatif perçu à la dégustation (*figure 4.35*).

Tableau 4.23 : Consommation de l'oxygène (µg/L/h) d'un vin blanc élevé 6 mois sur lies (d'après Salmon *et al.*, 1999)

Modalités	Consommation d'O_2 (µg/L/h)
Vin sur lies	611
Vin filtré	0,01
Lies seules	542
Lies traitées à la chaleur	19

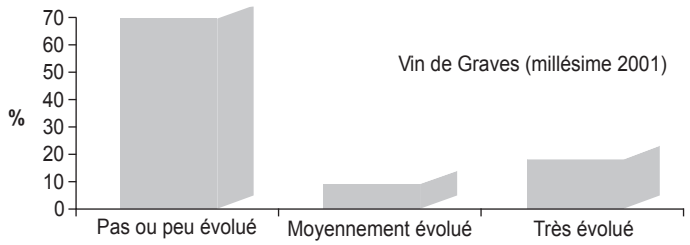


Figure 4.34 : Caractère aléatoire du vieillissement défectueux de l'arôme des vins en bouteille

25788_vins_blancs.indb 231 13-10-11 12:23 PM

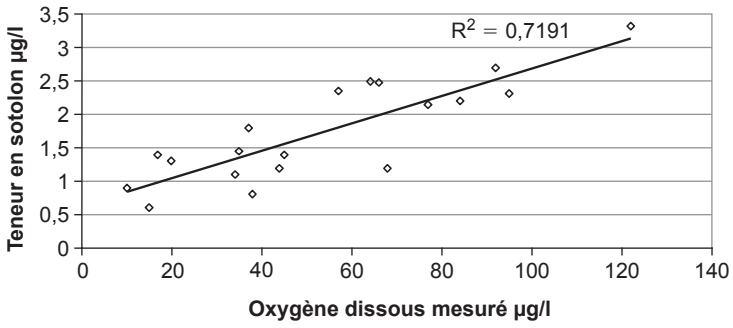


Figure 4.35 : Relation entre les teneurs du vin en sotolon et en oxygène dissous

Certains vins blancs présentent une fragilité particulière de leur arôme vis-à-vis de l'oxydation. Il apparaît clairement que le maintien de quantités significatives de glutathion (plusieurs mg/L) permet de prévenir cette évolution défectueuse de leur arôme. La teneur en glutathion des vins, c'est-à-dire le « potentiel réducteur » qui détermine leur aptitude au vieillissement, est largement dépendante des modalités de la vinification et de l'élevage. Mais le glutathion est-il susceptible d'influencer l'évolution aromatique du vin après sa mise en bouteille ?

Nous comparons, à titre expérimental, l'évolution aromatique d'un même vin de Sauvignon, additionné ou non de 10 mg/L de glutathion au moment de sa mise en bouteille. Le dosage des thiols volatils (4-méthyl-4-mercaptopentanone, 4MMP, et 3-mercaptohexanol, 3MH), du sotolon ainsi que l'estimation de l'intensité de la couleur jaune (DO 420), est effectué après trois ans de bouteille (*tableau 4.24*).

Il apparaît clairement, que l'addition de glutathion au moment de la mise en bouteille limite significativement l'évolution de la couleur du vin vers des nuances jaunes. En présence de glutathion, l'arôme fruité du vin jeune, évalué ici par le dosage du 3MH, est aussi mieux préservé. De plus, l'apparition du défaut de vieillissement défectueux de l'arôme des vins blancs secs est nettement retardée lorsque le vin est additionné de glutathion au moment de sa mise en bouteille.

À ce jour, l'addition de glutathion à un vin n'est pas encore autorisée. Une demande d'autorisation est actuellement en cours.

Tableau 4.24 : Mesure de la teinte jaune des vins ; dosage du 3-mercapto-hexanol et du sotolon après trois ans de bouteille

	Vin témoin	Vin additionné de glutathion (10 mg/L)
DO 420	0,203	0,136
3MH (ng/L)	320	445
Sotolon (µg/L)	9	3

25788_vins_blancs.indb 232 13-10-11 12:23 PM

Comment prévenir cette oxydation prématurée ?

Il suffit pour cela de respecter quelques règles relativement simples de la culture de la vigne à l'embouteillage.

Il faut d'abord assurer une vigueur suffisante de la vigne par une alimentation azotée non limitante. Les raisins riches en azote assimilable (> 200 mg/L) sont toujours plus riches en précurseurs d'arôme et en glutathion, et plus pauvres en composés phénoliques. Les rendements excessifs, la sécheresse, la concurrence de l'enherbement, les enracinements superficiels affaiblissent la vigne et favorisent le premox des vins blancs.

Au cours de l'extraction des jus, la diffusion des composés phénoliques des parties solides de la grappe doit être limitée pour préserver le glutathion. Le nombre de rebêches doit être minimisé et la sélection des jus de fin de presse rigoureuse.

Les moûts et les vins doivent être protégés efficacement de l'oxydation, par l'utilisation de gaz inerte et d'anhydride sulfureux pour éviter la formation du sotolon. La fermentation alcoolique doit être complète et relativement rapide afin de préserver le potentiel en glutathion du moût. Cela suppose un niveau de clarification du moût adapté au cépage, une teneur en azote assimilable suffisante et un apport d'oxygène à point nommé, durant la phase de multiplication des levures.

Lorsqu'elle est recherchée, la fermentation malolactique doit débuter le plus rapidement possible après la fin de la fermentation alcoolique. En effet, durant la phase de latence de la fermentation malolactique le vin n'est pas protégé de l'oxydation par le dioxyde de soufre. Les conditions de l'élevage doivent être aussi réductrices que possible ; le maintien d'une dose efficace de SO_2 libre, la remise en suspension des lies et l'utilisation modérée de bois neuf pourvoient.

Enfin, lors de la préparation des vins à la mise en bouteille, la dissolution d'oxygène doit être la plus limitée possible, et le choix de l'obturateur approprié au vin que l'on souhaite élaborer.

25788_vins_blancs.indb 233 13-10-11 12:23 PM

25788_vins_blancs.indb 234 13-10-11 12:23 PM

V

Diversité de l'expression sensorielle des vins blancs dans le monde

25788_vins_blancs.indb 235 13-10-11 12:23 PM

L'ensemble des opérations technologiques dont les objectifs, la mise en œuvre et les impacts sur la qualité des vins ont été décrits dans les parties précédentes permettent à l'œnologue et au producteur de vin d'élaborer le produit qu'il désire.

De la multitude des facteurs déterminants la qualité des vins naît une importante diversité d'expression sensorielle. C'est pourquoi, dans cette ultime partie, nous avons choisi de donner la parole à un expert de la dégustation afin qu'il nous fasse partager sa vision de cette diversité, au travers de ses expériences sensorielles.

25788_vins_blancs.indb 236 13-10-11 12:23 PM

17

Une diversité extraordinaire

Mon métier m'a permis de déguster depuis trente ans un très grand nombre de vins blancs issus de la plupart des régions vinicoles de la planète. L'émerveillement particulier que cette expérience m'a procuré est sans doute lié au préalable à des facteurs personnels, dépendants de mes gènes, ce que confirme l'état des connaissances actuelles des mécanismes du sens du goût. Subjectivement, je l'interprète comme une attirance spéciale pour des vins issus quasi exclusivement de la fermentation du jus de raisin, sans l'apport tannique et structurant des tannins issus de leurs peaux. Mais quand le plaisir est renforcé objectivement par l'extraordinaire diversité de parfum, de saveur et de forme que les vins blancs peuvent offrir aux amateurs du monde entier, ce à quoi les vins rouges ne peuvent pas prétendre, j'imagine aisément que je ne suis pas le seul dans ce cas ! Il serait vain de décrire cette diversité pays par pays, terroir par terroir ou cépage par cépage, en raison de répétitions fastidieuses. Je préfère tenter de faire comprendre le mécanisme de cette diversité par l'étude de ses causes naturelles et humaines, selon un ordre rationnel, partant du raisin et aboutissant au terroir, après le passage obligé de la vinification. Je relierai autant que possible ces causes aux vins qui sont spécialement dépendants d'elles. Ce travail de vulgarisation pour éclairant qu'il soit ne peut se faire qu'au prix de certaines approximations que les spécialistes pardonneront volontiers au non-scientifique que je suis.

25788_vins_blancs.indb 237 13-10-11 12:23 PM

18 Les facteurs de la diversité

Influence du raisin

Le vin blanc est le produit de la fermentation du jus de raisin, et de rien d'autre. Il n'est donc pas étonnant que l'influence du raisin sous la forme du cépage et du choix de sa maturité soit encore plus importante que pour un vin rouge.

Caractères organoleptiques fondamentaux des cépages

Je serai tenté de diviser l'ensemble des cépages blancs en deux grandes familles, dont la nature a conduit les vinificateurs à faire des choix de fermentation différents.

La première donne des raisins dont les peaux possèdent une forte personnalité aromatique dont on aimera retrouver les traits principaux dans les vins produits à partir d'eux. Elle comprend les grands cépages aromatiques de la plaine rhénane, le Riesling, le Gewürztraminer, avec des notes terpéniques caractéristiques, plus ou moins appuyées selon les hasards de la fermentation ou les choix des vinifications (et parfois les deux réunis), les différents Muscats et leur cousin argentin Torrontes, le Viognier, le méditerranéen Vermentino ou Rolle, cousin étonnant des Rieslings avec le vieillissement, le catalan Maccabeu, son compatriote Albarino, et les cépages du Piémont pyrénéen comme les Mansengs, enfin les Sauvignons et Sémillons blancs, roses ou gris, avec leurs fameux thiols. Le charme de ces vins dépend souvent plus de leur nez que de leur forme, et la majorité des vinificateurs cherche à lui donner le maximum de pureté d'expression, en s'appuyant sur une technique souvent sophistiquée (levures sélectionnées, macération préfermentaire, prévention de la fermentation malolactique qui adoucirait et standardiserait trop le fruit initial, usage du froid, teneur élevée en gaz carbonique résiduel du vin final). Leurs vins, très proches du raisin initial, le sont aussi de la nature des sols et du choix de leur maturité, avec les effets que j'indiquerai un peu plus loin, et perdent plus qu'ils ne gagnent à une fermentation en barrique neuve, dont les arômes perturbent leur pureté, mais s'accommodent parfaitement de vinifications en foudres anciens.

La seconde famille regroupe les enfants du Pinot noir, Pinot blanc, Pinot gris, Pinot meunier, Chardonnay, Aligoté, Melon, et de nombreux cépages du Sud comme Marsanne, Roussane, Grenache, Clairette, le Savagnin du Jura et son cousin le Furmint hongrois, les variétés suisses ou savoyardes. Leur jus étant plus expressif que leurs peaux, le rôle du ferment et de l'oxygène apparaît plus décisif, notamment l'adoucissement du fruité malique par le ferment lactique, partiel ou total selon le niveau d'acidité initial du raisin et les choix esthétiques du vinificateur. L'enrichissement de la saveur du vin par le travail autolytique des levures a été reconnu depuis longtemps, amplifié par le bâtonnage et l'élevage sur lies. Cet enrichissement demande du temps et en général les mises en bouteille sont plus tardives : les grands champagnes, il est vrai

25788_vins_blancs.indb 238 13-10-11 12:23 PM

protégés par leur gaz carbonique de fermentation, peuvent trouver leur épanouissement le plus accompli après dix ans de vieillissement sur leurs lies, en bouteille, avant dégorgement. Le type global de ces vins, plus ronds, plus gras, plus confortables en a fait les préférés des consommateurs de tout pays, nouveaux ou anciens, spécialement ceux issus du Chardonnay, avec une augmentation des plantations en rapport. Il suscite en contrepartie un rejet de snobisme chez certains amateurs, qui se résume de façon amusante par le fameux slogan ABC (*anything but Chardonnay*) né en Californie.

Influence de la maturité du raisin

La première et capitale décision du vigneron soucieux de produire un vin blanc de caractère est le choix du type de maturité du raisin, de façon encore plus déterminante que pour un vin rouge. Selon le climat de l'année, du lieu, la nature des sols et des cépages, il observe à la fois l'augmentation de la richesse en sucre de ses baies et la nature de leur acidité, fonction de l'équilibre entre acide malique et acide tartrique. Dans les climats chauds, il est tentant de récolter en sous maturité, pour éviter un excès d'alcool final et conserver une acidité apéritive : cela a donné au Portugal les célèbres Vinho verde, et quelques imitations en Italie du Sud ou dans les Nouveaux Mondes. Ce type de vin, naguère si populaire est en déclin car il a été possible par l'évolution des techniques du froid d'obtenir des vins aussi charmeurs sur le plan aromatique, mais moins marqué par la verdeur du goût, à partir de raisins un peu plus mûrs, sans l'être complètement. Les vins des cépages aromatiques sont les plus favorisés par ces maturités moyennes, spécialement les Sauvignons de climats frais et à haute luminosité solaire, comme ceux de Malborough en Nouvelle-Zélande. Mais la répétition d'une année sur l'autre des mêmes arômes, si elle facilite la mémorisation du goût et crée chez le consommateur débutant un effet sécuritaire de dépendance, finit par ennuyer à la longue, et actuellement de nombreux producteurs de Sauvignon des Nouveaux Mondes recherchent des maturités plus semblables à celle de leurs collègues européens. Sous les climats tempérés les vins secs les plus aboutis proviennent de raisins ayant atteint leur pleine maturité, en évitant toute dégradation du raisin liée à la pourriture ou à la flétrissure : ce n'est pas toujours chose aisée et une viticulture attentive permet seule d'obtenir ce résultat régulièrement. Les vins équilibrés titrent entre 12,5° et 14° degrés naturels avec une acidité de 4 à 6 grammes (en équivalence en acide sulfurique) : cet équilibre leur permet de bien vieillir en bouteille en renforçant les informations apportées par le millésime et le terroir, et parfois mieux que des vins rouges, ce qui reste pour moi un mystère. Je peux témoigner de l'état de conservation miraculeux d'un Meursault-Charmes 1846, parfaitement authentique, cent quarante ans plus tard ! Le vieillissement trop rapide de ces vins, si fréquent de nos jours, prudemment qualifié d'atypique par les œnologues, tient à des causes multiples qu'on commence seulement à mieux cerner. La surmaturité du raisin n'apporte en général rien à des vins secs mais évidemment est nécessaire pour la production de vins moelleux ou liquoreux, qui sont parfois les expressions les plus abouties et les plus mémorables de nos grands cépages. Elle prend deux grandes formes, le passerillage, ou assèchement par évaporation du raisin sur pied de vigne ou après cueillette sur claies, ou la pourriture noble, étonnante concentration du sucre et démultiplication du potentiel aromatique du raisin sous l'effet d'un microchampignon, *Botrytis cinerea*. Parfois ces deux formes se complètent selon les caprices de la météo du temps des vendanges, mais lorsque les vins proviennent exclusivement de l'une ou de l'autre les arômes et les sensations tactiles diffèrent énormément : le passerillage développe la densité des textures, jusqu'à la lourdeur, la pourriture noble concentre aussi les acidités et rend les parfums plus complexes et mémorables, avec des teneurs en sucre total plus raisonnables. Les meilleurs équilibres tournent autour de 20° potentield, avec 12 à 14° d'alcool

25788_vins_blancs.indb 239 13-10-16 2:42 PM

transformé, tandis qu'un grand passerillage, parfois exacerbé par les premières gelées sur le raisin (vins de glace) peut donner du 25 à 30° potentiel avec peu d'alcool formé (la fermentation ne peut dépasser 6 ou 7° en alcool transformé) et beaucoup de sucre résiduel. L'équilibre ne peut être alors rétabli que par une forte acidité, que seul le gel autorise. Comme les vins de pourriture noble exigent des conditions climatiques très spéciales, dans certains vignobles des nouveaux mondes, et spécialement en Australie, on a trouvé des moyens artificiels pour la développer sur du raisin, par injection de *Botrytis* à la seringue sur des baies saines. Les vins ainsi produits peuvent surprendre par leur qualité mais en général possèdent beaucoup moins de cachet.

Influence de la vinification

Pressurage et moût

L'acte fondateur de l'élaboration de tout vin blanc, issu de tout cépage, tout terroir et tout climat, reste le pressurage et la nature du moût avant sa fermentation. Les différents types de pressoir des cent dernières années ont certainement perturbé la continuité du type des vins produits, mais le matériel moderne permet une qualité globale infiniment plus élevée ! Les pressoirs verticaux, à nouveau en faveur, avaient l'avantage de l'aération des jus et favorisaient la séparation de ces mêmes jus selon leur turbidité : pour soulager la masse de matière solide à presser une seconde fois les vignerons égrappaient en général le raisin dès que les égrappoirs sont apparus. Cela évitait la production de tannins végétaux peu élégants. Il fallait faire de même avec les pressoirs verticaux à chaîne mais le pressurage pneumatique plus doux quand le raisin est bien mûr, mais surtout plus homogène, a permis de plus en plus de conserver le raisin entier et donc de préserver le potentiel aromatique des baies. La lenteur du travail des pressoirs verticaux a également donné à réfléchir et on s'est aperçu que la macération du jus sur les peaux accentuait son parfum. De là est né le principe des macérations préfermentaires qui s'est répandu sur toute la planète pour les cépages aromatiques. Les sensations tactiles délivrées par un vin blanc dépendent énormément de la qualité du pressurage. Les Rieslings pressés trop fortement (et cueillis pas assez mûrs) exagèrent la production des terpènes avec des notes pétrolées et une dureté de toucher de bouche de moins en moins acceptés par le public, et il a raison ! Les Chardonnays développent une amertume peu élégante et pratiquement tous les cépages souffrent de ces maladresses. La proportion de lies dans le moût influe aussi beaucoup le goût : des jus trop clairs donnent des vins propres mais souvent simples, qui vieillissent mal. Les jus trop troubles contiennent des impuretés qui donneront des vins moins élégants. L'adresse du vinificateur sera de trouver la juste proportion et la science sur ce point aide mais ne suffit pas : un tempérament artistique est nécessaire comme pour les bons cuisiniers et nos plus grands vins français, spécialement les grands Chardonnays de Bourgogne sont toujours produits par des vinificateurs artistes.

Levurage

La fermentation des jus est l'œuvre des levures et cette phase est aujourd'hui la plus discutée de toute l'œnologie, à la source de débats sans fin (et stériles) entre œnologues et amateurs. La religion de l'origine fait bien entendu préférer par les amateurs la fermentation des levures indigènes, tandis que l'œnologie préfère contrôler l'activité du ferment par des levures sélectionnées. L'expérience m'a donné sur ce point une grande souplesse d'appréciation. Une bonne viticulture produit des raisins qui souvent fermentent parfaitement avec leurs levures propres,

25788_vins_blancs.indb 240 13-10-16 2:42 PM

plus celles du cuvier des producteurs, avec des vins de belle définition. Mais des accidents climatiques (pluies, vents, etc.) peuvent multiplier des levures soit trop paresseuses soit indésirables qui entraîneront des déviations de saveur indéfendables. Il est donc parfaitement compréhensible que l'ajout de levures neutres et sélectionnées aide à conduire la fermentation à terme, sans déviation, avec le minimum de déperdition des bonnes informations contenues dans le raisin, et donc fidèles au terroir et au millésime. Le cas des levures aromatiques est plus contestable : elles ont été sélectionnées pour accentuer la saveur de jus trop neutres, ou pour fidéliser la consommation du produit par des arômes reproductibles régulièrement et aisés à mémoriser. Cette standardisation des saveurs ne doit évidemment pas être autorisée pour des vins d'appellation. Elle a pourtant tendance à s'amplifier dans les nouveaux mondes et même dans nos vins de début de gamme et je le regrette.

Soufre

Je n'ai pas à prendre parti dans le débat idéologique qui s'est récemment créé autour de l'utilisation du soufre : je ne suis pas œnologue, médecin ou législateur, mais je peux par mon expérience de dégustateur confirmer à quel point l'utilisation du SO_2 influe sur la saveur des produits. Il est très rare (mais pas impossible) que des vins blancs fermentés sans addition de soufre (vins dits « nature ») aient la précision et la stabilité dans l'expression de leur origine et de leur millésime que les vins intelligemment soufrés. Le plus souvent, leurs arômes rappelant la pomme plus ou moins oxydée, le vernis à ongle, avec des amers déséquilibrants se chevauchent d'un type de raisin à l'autre. Parfois, une longue aération leur rend la pureté qu'ils ne déploient pas à l'ouverture de la bouteille, mais le plus souvent les défauts s'accentuent. Mais les vins trop protégés par le soufre, outre les maux de tête qu'ils donnent au buveur allergique, n'offrent pas plus de précision d'expression ou d'agrément, avec des duretés définitives et une simplification aussi indésirable de la saveur. Mais combien d'erreurs d'appréciation ont fait confondre les notes pierreuses et minérales de silex, données par certains terroirs calcaires, et le SO_2, accusé d'une présence qui n'est pas la sienne ! Inversement, combien de vinificateurs, partout dans le monde, recherchent une minéralisation de la saveur par le SO_2 et la réduction dans des cuves en acier inoxydable ! Dans ce domaine comme dans bien d'autres, le savoir œnologique, aidé par l'empirisme et l'instinct permettent de trouver la juste dose et le juste moment pour le dosage.

Élevage

La question du boisé et de son influence, capitale pour les vins rouges, vaut aussi pour les vins blancs, surtout les vins blancs de garde et non aromatiques. L'empirisme a montré que les vins obtenus après fermentation malolactique, et pas seulement ceux de Chardonnays, gagnent beaucoup en stabilité et en complexité par un élevage en barrique. La taille des barriques (le volume le plus intéressant semble le demi-muids de 400 à 600 L), l'origine, la chauffe du bois, la proportion de bois neuf ont une grande influence et la mode s'en joue. Un public débutant a ainsi encouragé la course au boisé, symbole de luxe et de réussite sociale. Ce mouvement né dans les Nouveaux Mondes, Californie et Australie, accentué par la nature fortement lactique de leur ferment et de leurs clones, a beaucoup affecté la production des vins de la vieille Europe. On en revient aujourd'hui avec la recherche de la « minéralité », concept fourre-tout qui englobe en fait tout ce qui n'est pas fruité marqué (suspect d'être produit artificiellement) et pas boisé, le boisé étant accusé d'être un maquillage non démocratique. Mais il reste incontestable que l'oxygène diffusé par le bois aide à la formation d'arômes spécifiques et complexes, à leur tenue au vieillissement qui justifie les élevages intelligents en barrique. Il est tout aussi incontestable que les vins de même origine mais non fermentés ou élevés sous-bois finissent par leur

25788_vins_blancs.indb 241 13-10-11 12:24 PM

ressembler mais avec encore plus de vieillissement en bouteille. Certains grands champagnes en apportent tous les jours la preuve, mais j'ai eu une preuve définitive de la chose en dégustant un Montrachet élevé en barrique d'acier, barrique pour autoriser un travail semblable sur lies, acier pour accentuer la neutralité du logement. Il lui a fallu cinq à six ans de plus que son jumeau élevé sous-bois pour le rejoindre dans son expression aromatique et son toucher de bouche.

Gaz carbonique

Ce facteur est moins connu et discuté que d'autres mais tout aussi important. Une mise en bouteille avec une teneur élevée en CO_2 compense partiellement le manque d'acidité du vin initial en lui donnant une vivacité certes artificielle mais réellement perceptible. Elle permet aussi de diminuer légèrement le dosage des vins en SO_2 libre. C'est le cas de la plupart des vins blancs italiens, espagnols, des Sauvignons néo-zélandais, des Rieslings de terres chaudes, et désormais de bien des vins français, à la fraîcheur handicapée par le réchauffement climatique. Mais la chose n'est pas nouvelle, les vins paysans de la tradition de nombreuses régions, comme le perlant des Gaillacs, le moustille des Chablis, le « spritzig » des Sylvaners alsaciens, jouaient déjà sur leur délicate pétillance, merveilleusement apéritive.

Sucre résiduel

Il est acquis, c'est leur définition même, que les vins moelleux ou liquoreux contiennent beaucoup de sucres résiduels et naturels, issus du différentiel entre la richesse initiale du moût en sucre et la proportion d'alcool transformé. Mais pour les vins dits « secs » la législation française est très stricte, limitant souvent à 2 g/L (en plus des sucres infermentescibles) ce même sucre résiduel. Avec le réchauffement climatique, la vigueur des levures actuelles, la teneur des vins en alcool augmente et rend moins agréable leur buvabilité. Dans les vignobles qui le permettent en France et pratiquement partout à l'étranger, on assiste au développement des secs dits « tendres », contenant parfois plus de dix grammes de sucre, à l'imitation des champagnes bruts qui peuvent en contenir douze ou treize. Ces vins rejoignent le goût d'une nouvelle génération de consommateurs habitués à la présence de sucre dans les plats salés et buveurs depuis l'enfance de sodas et jus de fruit très riches en sucre. On peut le regretter mais c'est un fait. Néanmoins, un mouvement normal de balancier, associant snobisme et esprit de contradiction ou de rébellion, remet à la mode, pour une petite tranche de consommateurs, des vins ultra-secs, tranchants, parfois même abrupts pour certains champagnes, davantage porteurs d'une sanctifiante « minéralité ».

25788_vins_blancs.indb 242 13-10-11 12:24 PM

19

Terroir, climat, hémisphères

La plus grande source de diversité de styles et de saveurs des blancs reste quand même leur étonnante aptitude à varier selon les types de terroir et de climat, au sens le plus large de ces deux termes. Il faut par terroir penser origine et régime hydrique des sous-sols, et tout autant, travail par l'homme et la vigne du sol superficiel, indispensable pour une alimentation racinaire idoine de la vigne. Par climat, il ne faut pas se contenter de moyennes de température, mais tenir autant compte des effets de la lumière, des vents dominants, de l'alternance entre pluie et soleil, bref de tout ce qui détermine l'alimentation externe de cette même vigne et influe sans doute davantage sur le goût du raisin. Se pose alors une question inévitable : y a-t-il une différence de goût entre l'hémisphère nord et l'hémisphère sud, ou comme on l'imagine encore plus souvent, entre nouveaux et anciens mondes ? Pour avoir fait de nombreuses dégustations à l'aveugle et m'être encore plus trompé que la moyenne, en prenant les uns pour les autres, et vice-versa, je répondrai fermement non. Le géologue expliquera mieux que moi les symétries des formations géologiques sur les deux continents, le visiteur que je suis pouvant simplement témoigner de la présence des mêmes familles de sol un peu partout et de leurs effets globaux sur le goût des vins. Les granits, et particulièrement les arènes granitiques, issues de l'érosion de la roche mère, donnent des vins moins acides, plus ronds, plus immédiatement formés et parfumés, et souvent cristallins. Ce type de sol favorise naturellement les cépages aromatiques. Les sols métamorphiques, schistes, ou laves volcaniques, donnent des vins plus corsés, assez minéraux, avec une tendance à donner des arômes fumés au vieillissement. Les calcaires selon leur contenu plus ou moins importants de marne et de calcaire actif donnent les blancs les plus corsés, les plus lents à s'épanouir et les plus complexes au vieillissement. Du taux de calcaire actif dépendent l'équilibre en acidité, et l'impression de tension liée à cette acidité, et dans le fruit les nuances caractéristiques de citron. La présence de calcaire fossile (et des fossiles qui confirment son origine marine ou lacustre) apporte une salinité indiscutable, qui est sans doute à la source du concept de minéralité, et d'autant plus marquée que la présence de magnésium assimilable est importante. Les marnes accentuent le corps donné par le calcaire, jusqu'au sentiment de lourdeur en relation avec l'augmentation du degré alcoolique. Les alluvions et les lœss donnent dans les deux hémisphères des vins moins fins, moins typés, où le travail de vinification marque davantage le goût que la nature du sol. La qualité de maturité du raisin dépendra dans tous les cas autant de l'exposition, chaude en terroir froid, froide en terroir chaud, que de l'alimentation en eau de la vigne, qu'elle soit naturelle ou aidée par l'homme. Les qualités ou les défauts que l'on impute à un vignoble particulier, par une généralisation excessive, s'expliquent par l'adresse ou la maladresse des choix humains. Ces choix étant de même nature quel que soit le continent ou l'ancienneté de plantation des vignes, les différences stylistiques, quand elles existent, ne sont dues qu'aux goûts spécifiques des consommateurs locaux, et à la demande qu'ils suscitent.

25788_vins_blancs.indb 243 13-10-11 12:24 PM

Bibliographie générale

Partie II – Déterminants de la qualité des raisins et vins blancs

Abrunhosa, L., Calado, T., Venancio A. (2011). Incidence of Fumonisin B2 Production by *Aspergillus niger* in Portuguese Wine Regions. *J Agric Food Chem ;* 59(13) : 7514-8.

Anfang, N., Brajkovich, M., *et al.* (2009). Co-fermentation with *Pichia kluyveri* increases varietal thiol concentrations in Sauvignon blanc. *Aust J Grape Wine R ;* 15(1) : 1-8.

Anocibar Beloqui, A. (1998). Les composés soufrés volatils des vins rouges. PhD Thesis. UniversitéVictor Segalen Bordeaux 2.

Barril, C., Clark, A.C., Prenzler, P.D., Karuso, P., Scollary, G.R. (2009). *J Agric Food Chem ;* 57 : 9539-46.

Barril, C., Clark, A.C., Scollary, G.R. (2012). Chemistry of ascorbic acid and sulfur dioxide as an anti-oxidant system relevant to white wine. *Anal Chim Acta* ; 732 : 186-93.

Bau, M., Bragulat, M.R., Abarca, M.L., Minguez, S. & Cabañes, F.J. (2005). Ochratoxigenic species from Spanish wine grapes. *International Journal of Food Microbiology* ; 98 : 125-30.

Bayonove, C. (1998). L'arôme variétal : le potentiel aromatique du raisin. *In : Œnologie : fondements scientifiques et technologiques*. C. Flanzy (ed.). Paris, Tec & Doc Lavoisier, coll. « Sciences et techniques agroalimentaires », 332-413.

Bisiach, M., Minervini, G., Salomone, M.-C. (1982). Recherches expérimentales sur la pourriture acide de la grappe et sur ses rapports avec la pourriture grise. *Bulletin OEPP* ; 12 : 15-27.

Bradshaw, M.P., Cheynier, V., Scollary, G.R., Prenzler, P.D. (2003). Defining the ascorbic acid crossover from antioxidant to pro-oxidant in a model wine matrix containing (+)-catechin. *J Agric Food Chem ;* 51 : 4126-32.

Capone, D.L. and Jeffery, D.W. (2011). Effects of Transporting and Processing Sauvignon blanc Grapes on 3-Mercaptohexan-1-ol Precursor Concentrations. *J Agric Food Chem ;* 59(9) : 4659-67.

Chatonnet, P., Dubourdieu, D. *et al.* (1993). Synthesis of volatil phenols by *Saccharomyces cerevisiae* in wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture* ; 62(2) : 191-202.

Cheynier, V., Ricardo Da Silva, J.M. (1991). Oxidation of grape procyanidins in model solutions containing trans-caffeoyl tartaric acid and grape polyphenoloxidase. *J Agric Food Chem ;* 39 : 1047-9.

Cheynier, V., Rigaud, J., Moutounet, M. (1990). Oxidation kinetics of trans-caffeoyl tartrate and its glutathione derivatives in grape must and must-like model solutions. *Phytochemistry ;* 29(6) : 1751-3.

Cheynier, V., Rigaud, J., Souquet, J.M., Barillere, J.M., Moutounet, M. (1989). Effect of pomace contact and hyperoxidation on the phenolic composition and quality of Grenache and Chardonnay wines. *Am J Enol Vitic ;* 40(1) : 36-42.

Cheynier, V., Trousdale, E., Singleton, V.L., Salgues, M., Wylde, R. (1986). Characterization of 2-S-glutathionyl caftaric acid and its hydrolysis in relation to grape wines. *J Agric Food Chem ;* 34 : 217-21.

Cheynier, V., Van Hulst, M.W. (1988). Oxidation of trans-caftaric acid and 2-S-glutathionyl caftaric acid in model solutions. *J Agric Food Chem ;* 36(1) : 10-5.

Cheynier, V., Schneider, R., *et al.* (2010). Chemistry of Wine. *Comprehensive Natural Products II, Chemistry and Biology.* L. Mander and H.W. Lui. Oxford, Elsevier. 3 : 1119-72.

Choné, X. (2001). Contribution à l'étude des terroirs de Bordeaux : étude des déficits hydriques modérés, de l'alimentation en azote et de leurs effets sur le potentiel aromatique des raisins de *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc. PhD thesis, Université de Bordeaux 2.

25788_vins_blancs.indb 244 13-10-11 12:24 PM

Choné, X., Lavigne-Cruège, V., *et al.* (2006). Effect of vine nitrogen status on grape aromatic potential : Flavor precursors (S-cysteine conjugates), glutathione and phenolic content in *Vitis Vinifera* L. cv. Sauvignon blanc grape juice. *J Int Sci Vigne Vin ;* 40(1) : 1-6.

Clark, A.C., Dias, D.A., Smith, T.A., Ghiggino, K.P., Scollary, G.R. (2011). Iron(III) Tartrate as a Potential Precursor of Light-Induced Oxidative Degradation of White Wine : Studies in a Model Wine System. *J Agric Food Chem ;* 59 : 3575-81.

Clark, A.C., Prenzler, P.D., Scollary, G.R. (2007). Impact of the condition of storage of tartaric acid solutions on the production and stability of glyoxylic acid. *Food Chem ;* 102 : 905-16.

Cordonnier, C., Bayonove, C. (1974). Mise en évidence dans la baie de raisin, variété Muscat d'Alexandrie, de monoterpènes liés, révélables par une ou plusieurs enzymes du fruit. *Compte rendu de l'Académie des Sciences* ; 278 D : 3387-90.

Crouzet, J., Flanzy, C., *et al.* (1998). Les enzymes en œnologie. *In : Œnologie : fondements scientifique et technologiques*. C. Flanzy (ed.). Paris, Tec & Doc Lavoisier, coll. « Sciences et techniques agro-alimentaires », 362-411.

Dagan, L. (2006). Potentiel aromatique des raisins de *Vitis Vinifera* L. cv. Petit Manseng et Gros Manseng. Contribution à l'arôme des vins de pays Côtes de Gascogne. PhD thesis. École nationale supérieure agronomique de Montpellier.

Danilewicz, J.C. (2011). Mechanism of autoxidation of polyphenols and participation of sulfite in 513. wine : key role of iron. *Am J Enol Vitic ;* 62 : 319-28.

Danilewicz, J.C. (2013). Reactions Involving Iron in Mediating Catechol Oxidation in Model Wine. *Am J Enol Vitic* ; sous presse.

Darriet, P., Pons, M., Henry, R., Dumont, O., Findeling, V., *et al.* (2002). Impact Odorants Contributing to the Fungus Type Aroma from Grape Berries Contaminated by Powdery Mildew (*Uncinula necator*) ; Incidence of Enzymatic Activities of the Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *J Agric Food Chem ;* 50 : 3277-82.

Dias, D.A., Clark, A.C., Smith, T.A., Ghiggino, K.P., Scollary, G.R. (2013). Wine bottle colour and oxidative spoilage : Whole bottle light exposure experiments under contRolled and uncontRolled temperature conditions. *Food Chem* ; 138 : 2451-9.

Diaz-Maroto, M.C., Schneider, R., *et al.* (2005). Formation Pathways of Ethyl Esters of Branched Short-Chain Fatty Acids during Wine Aging. *J Agric Food Chem ;* 53 : 3503-9.

Doaré-Lebrun, E., El Arbi, A., Charlet, M., Guérin, L., Pernelle, J-J., Ogier, J-C. & Bouix, M. (2006). Analysis of fungal diversity of grapes by application of temporal temperature gradient gel electrophoresis – potentialities and limits of the method. *Journal of Applied Microbiology* ; 101 : 1340-50.

Du Plessis, C. and Loubser, G. (1974). The bouquet of « late harvest » wine. *Agrochemophysica* ; 6 : 49-52.

Du Plessis, C.S. and Augustyn, O.P.H. (1981). Initial study on the guava aroma of Chenin Blanc and Colombar wines. *S Afr J Enol Vitic ;* 2(2) :101-3.

Dubourdieu, D., Tominaga, T., *et al.* (2006). The Role of Yeasts in Grape Flavor Development during Fermentation : The Example of Sauvignon blanc. *Am J Enol Vitic ;* 57(1) : 81-8.

Es-Safi, N., Le Guernevé, C., Fulcrand, H., Cheynier V., Moutounet, M. (1999). New polyphenolic compounds with xanthylium skeletons formed through reaction between (+)-catechin and glyoxylic acid. *J Agric Food Chem ;* 47(12) : 5211-7.

Etiévant, P. (1991). *Wine. Volatile Compounds in Foods and Beverages*. M.H. New-York, Basel, Hong-Kong, Dekker Inc. 483-546.

Fedrizzi, B., Pardon, K.H., *et al.* (2009). First Identification of 4-S-Glutathionyl-4-methylpentan-2-one, a Potential Precursor of 4-Mercapto-4-methylpentan-2-one, in Sauvignon blanc Juice. *J Agric Food Chem ;* 57(3) : 991-5.

25788_vins_blancs.indb 245 13-10-11 12:24 PM

Fenton, H. (1894). Oxidation of tartaric acid in presence of iron. *J Chem. Soc* ; 65 : 899-910.

Ferreira, V. (2012). Bases moléculaires de l'arôme du vin. *Vinaromas*, Toulouse et Saragosse, IFV.

Fulcrand, H., Duenas-Paton, M., Salas, E., Cheynier, V. (2006). Phenolic reactions during winemaking and aging. *Am J Enol Vitic ;* 57 : 289-97.

Fulcrand, H., Cheynier, V., Oszmianski, J., Moutounet, M. (1997). An oxidized tartaric acid residue as a new bridge potentially competing with acetaldehyde in flavan-3-ol condensation. *Phytochemistry* ; 46(2) : 223-7.

Fulcrand, H., Doco, T., Es Safi, N.E., Cheynier, V. (1996). Study of the acetaldehyde induced polymerisation of flavan-3-ols by liquid chromatography – ion spray mass spectrometry. *Chromatogr* ; 752 : 85-91.

Gadoury, D.M., Seem, R.C., Wilcox, W.F., Henick-Kling, T., Conterno, L., *et al.* (2007). Effects of Diffuse Colonization of Grape Berries by *Uncinula necator* on Bunch Rots, Berry Microflora, and Juice and Wine Quality. *Phytopathology* ; 97 : 1356-65.

Gawel, R., Dimanin, P.A.G., Francis, I.L., Waters, E.J., Herderich, M.J., Pretorius, I.S. (2008). Coarseness in white table wine. *Aust NZ Wine Ind J ;* 23(3) : 1922.

Gazzola, D., Van Sluyter, C., Curioni, A., Waters, E.J., Marangon, M. (2012). Roles of Proteins, Polysaccharides, and Phenolics in Haze Formation in White Wine *via* Reconstitution Experiments. *J Agric Food Chem ;* 60 : 10666-73.

Grant-Preece, P.A., Pardon K.H., *et al.* (2010). Synthesis of Wine Thiol Conjugates and Labeled Analogues : Fermentation of the Glutathione Conjugate of 3-Mercaptohexan-1-ol Yields the Corresponding Cysteine Conjugate and Free Thiol. *J Agric Food Chem ;* 58(3) : 1383-9.

Guérin, L., Guyot, F., Vincent, B., Lempereur, V. (2007). Épidémiologie des moisissures responsables des goûts moisi-terreux. Symposium de Bordeaux, juin 2007. Publication dans les actes du colloque Vigne et Vin. Publications internationales éditeur, juillet 2010, 76-8.

Guichard, E., Pham T.-T., *et al.* (1997). Le sotolon, marqueur de la typicité de l'arôme des vins du Jura. *Revue des Œnologues* ; 82 : 32-4.

Guth, H. (1997). Quantitation and Sensory Studies of Character Impact Odorants of Different White Wine Varieties. *J Agric Food Chem ;* 45(8) : 3027-32.

Guyot, S., Vercauteren, J., Cheynier V. (1996). Colourless and yellow dimers resulting from (+)-catechin oxidative coupling catalysed by grape polyphenoloxidase. *Phytochemistry* ; 42 : 1279-88.

Harsch, M.J., Benkwitz F., *et al.* (2013). New Precursor of 3-Mercaptohexan-1-ol in Grape Juice : Thiol-Forming Potential and Kinetics during Early Stages of Must Fermentation. *J Agric Food Chem ;* 61(15) : 3703-13.

Hernandez-Orte, P., Cersosimo M., *et al.* (2008). The development of varietal aroma from non-floral grapes by yeasts of different genera. *Food Chem* ; 107(3) : 1064-77.

Hufnagel, J.C., Hofmann, T. (2008). Quantitative reconstruction of the nonvolatile sensometabolome of a red wine. *J Agric Food Chem ;* 56 : 9190-9.

King, E.S., Swiegers J.H., *et al.* (2008). Coinoculated fermentations using saccharomyces yeasts affect the volatile composition and sensory properties of *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc wines. *J Agric Food Chem* ; 56(22) : 10829-37.

Kobayashi, H., Takase H., *et al.* (2010). Analysis of S-3-(hexan-1-ol)-glutathione and S-3-(hexan-1-ol)-L-cysteine in *Vitis vinifera* L. cv. Koshu for aromatic wines. *Am J Enol Vitic* ; 61(2) : 176-85.

Lacroux, F., Tregoat O., *et al.* (2008). Effect of foliar nitrogen and sulphur application on aromatic expression of *Vitis Vinifera* L. cv. Sauvignon blanc. *J Int Sci Vigne Vin* ; 42(3) : 125-32.

Laforgue, R., Guérin, L., Pernelle, J.J., Monnet, C., Dupont, J. & Bouix, M. (2009). Evaluation of PCR-DGGE methodology to monitor fungal communities on grapes. *Journal of Applied Microbiology* ; 107 : 1208-18.

25788_vins_blancs.indb 246 13-10-11 12:24 PM

Lopes, P., Saucier, C.D., *et al.* (2006). Impact of Storage Position on Oxygen Ingress through Different Closures into Wine Bottles. *J Agric Food Chem ;* 54(18) : 6741-6.

Lopes, P., Saucier, C., *et al.* (2005). Nondestructive Colorimetric Method To Determine the Oxygen Diffusion Rate through Closures Used in Winemaking. *J Agric Food Chem ;* 53(18) : 6967-73.

Lopes, P., Silva, M.A., *et al.* (2009). Impact of Oxygen Dissolved at Bottling and Transmitted through Closures on the Composition and Sensory Properties of a Sauvignon blanc Wine during Bottle Storage. *J Agric Food Chem ;* 57(21) : 10261-70.

Loscos, N., Hernandez-Orte, P., *et al.* (2007). Release and formation of varietal aroma compounds during alcoholic fermentation from nonfloral grape odorless flavor precursors fractions. *J Agric Food Chem* ; 55(16) : 6674-84.

Lund, C.M., Thompson, M.K., *et al.* (2009). New Zealand Sauvignon blanc Distinct Flavor Characteristics : Sensory, Chemical, and Consumer Aspects. *Am J Enol Vitic* ; 60(1) : 1-12.

Macheix, J.-J., Fleuriet, A., Sarni-Manchado, P (2006). Les composés phénoliques dans la plante : structure, biosynthèse, répartition et rôles. In : *Les polyphénols en agroalimentaire*, Sarni-Manchado, P., Cheynier, V. (eds.). Paris, Tec & Doc Lavoisier.

Maggu, M., Winz, R., *et al.* (2007). Effect of Skin Contact and Pressure on the Composition of Sauvignon blanc Must. *J Agric Food Chem ;* 55(25) : 10281-8.

Mané, C., Souquet, J.M., Véran, F., MazeRolles, G., Cheynier, V., Fulcrand, H. (2007). Optimisation of simultaneous flavanol, phenolic acid and anthocyanin extraction from grapes using an experimental design ; Application to the characterisation of Champagne grape varieties. *J Agric Food Chem ;* 55(18) : 7224-33.

Marais, J. (1979). Effect of storage time and temperature on the formation of dimethyl sulphide and on white wine quality. *Vitis* ; 18 : 254-60.

Martins, G., Miot-Sertier, C., Lauga, B., Claisse, O., Lonvaud, A., *et al.* (2012). Grape berry bacterial microbiota : Impact of the ripening process and the farming system. *Int J of Food Microbio* ; 17(158) : 93-100.

Masneuf, I., Murat, M.L., *et al.* (2002). Hybrids *Saccharomyces cerevisiae* x *Saccharomyces bayanus* var-uavrum having a high liberating ability of some sulfur varietal aromas of *Vitis vinifera* Sauvignon blanc wines. *J Int Sci Vigne Vin* ; 36 : 205-12.

Masneuf-Pomarede, I., Mansour, C., *et al.* (2006). Influence of fermentation temperature on volatile thiols concentrations in Sauvignon blanc wines. *Int J Food Microbio* ; 108(3) : 385-90.

Morakul, S., Mouret, J. R., *et al.* (2013). A Dynamic Analysis of Higher Alcohol and Ester Release During Winemaking Fermentations. *Food and Bioprocess Technology* ; 6(3) : 818-27.

Murat, M.L., Tominaga, T., *et al.* (2001). Assessing the Aromatic Potential of Cabernet Sauvignon and Merlot Musts Used to Produce Rose Wine by Assaying the Cysteinylated Precursor of 3-Mercaptohexan-1-ol. *J Agric Food Chem ;* 49 : 5412-7.

Nikolantonaki, M., Chichuc, I., *et al.* (2009). Reactivity of volatile thiols with polyphenols in a wine-model medium : Impact of oxygen, iron, and sulfur dioxide. *Anal Chim Acta* ; 660(1-2) : 102-9.

Nisiotou, A.A., & Nychas, G.J. (2007). Yeast Populations Residing on Healthy or *Botrytis*-Infected Grapes from a Vineyard in Attica, Greece. *Appl Environ Microbiol* ; 73 : 2765-8.

Nisiotou, A.A., Rantsiou, K., Iliopoulos, V., Cocolin, L. & Nychas, GJ. (2011). Bacterial species associated with sound and *Botrytis*-infected grapes from a Greek vineyard. International *J of Food Microbio* ; 145 : 432-6.

Nisiotou, A.A., Spiropoulos, A.E. & Nychas, G.J. (2007). Yeast Community Structures and Dynamics in Healthy and *Botrytis*-Affected Grape Must Fermentations. *Appl Environ Microbiol* ; 73 : 6705-13.

Noble, A.C. (1990). Bitterness and astringency in wine. In : *Bitterness in foods and beverages*, Rousseff, R.L. (Ed.). Amsterdam, Elsevier.

25788_vins_blancs.indb 247 13-10-11 12:24 PM

Palumbo Jeffrey, D., O'Keefe Teresa, L., Mc Garvey Jeffery, A. (2011). Incidence of Fumonisin B2 Production within *Aspergillus* Section Nigri Populations Isolated from California Raisins. *Journal of Food protection* ; 74(4) : 672-5.

Peleg, H., Noble, A.C. (1995). Perceptual properties of benzoic acid derivatives. *Chem Senses* ; 20 : 393-440.

Peyrot des Gachons, C., Tominaga, T., *et al.* (2002). Localisation of S-cysteine conjugates in the berry : Effect of skin contact on aromatic potential of *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc must. *Am J Enol Vitic* ; 53(2) : 144-6.

Peyrot des Gachons, C., Tominaga, T., *et al.* (2002). Sulfur Aroma Precursor Present in S-glutathione Conjugate Form : Identification of S-3-(Hexan-1-ol)-glutathione in Must from *Vitis Vinifera* L. cv. Sauvignon blanc. *J Agric Food Chem ;* 50 : 4076-9.

Pham, T.-T., Guichard, E., *et al.* (1996). Conditions optimales de formation du sotolon à partir de l'acide a-cétobutyrique dans le vin jaune du Jura. 5e symposium international d'œnologie de Bordeaux. A. Lonvaud-Funel. Paris, Tec & Doc Lavoisier, 613-6.

Prieur, C., Rigaud, J., Cheynier, V., Moutounet, M. (1994). Oligomeric and polymeric procyanidins from grape seeds (*Vitis vinifera*). *Phytochemistry* ; 36 (3) : 781-4.

Renouf, V. (2006). Description et caractérisation de la diversité microbienne durant l'élaboration du vin : interactions et équilibres-relation avec la qualité du vin. Thèse de doctorat INPT. Toulouse.

Roland, A., Vialaret, J., *et al.* (2010). Évolution of S-cysteinylated and S-glutathionylated thiol precursors during oxidation of Melon B. and Sauvignon blanc musts. *J Agric Food Chem ;* 58(7) : 4406-13.

Roland, A., Vialaret, J., *et al.* (2010). Validation of a nano liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for the identification and the accurate quantification by isotopic dilution of glutathionylated and cysteinylated precursors of 3-mercaptohexan-1-ol and 4-mercapto-4-methylpentan-2-one in white grape juices. *J Chromatogr A ;* 1217 : 1626-35.

Roland, A., Schneider, R., *et al.* (2010). Distribution of varietal thiol precursors in skin and pulp for Melon B. and Sauvignon blanc grapes. *Food Chem* ; 125 : 139-44.

Sage, L., Garon, D. & Seigle-Murandi, F. (2004). Fungal Microflora and Ochratoxin A Risk in French Vineyards. *J Agric Food Chem ;* 52 : 5764-8.

Schneider, R., Charrier, F., *et al.* (2006). Evidence for an alternative biogenetic pathway leading to 3-mercaptohexanol and 4-mercapto-4-methylpentan-2-one in wines. *Anal Chim Acta* ; 563(1-2) : 58-64.

Ségurel, M., Razungles, A., *et al.* (2004). Contribution of dimethyl sulphide to the aroma of Syrah and Grenache noir wines and estimation of its potential in grapes of these varieties. *J Agric Food Chem ;* 52 : 7084-93.

Ségurel, M., Razungles, A., *et al.* (2005). Ability of possible precursors to release DMS during wine aging and in the conditions of heat alkaline treatment. *J Agric Food Chem ;* 53 : 2637-45.

Serra, R., Braga, A. & Venâncio, A. (2005). Mycotoxin-producing and other fungi isolated from grapes for wine production, with particular emphasis on ochratoxin A. *Research in Microbiology* ; 156 : 515-21.

Singleton, V.L., Timberlake, C.F., Lea, A.G.H. (1978). The Phenolic Cinnamates of White Grapes and Wine. *J Sci Food Agric ;* 29 ; 403-10.

Skouroumounis, G.K., Kwiatkowski, M.J., *et al.* (2005). The impact of closure type and storage conditions on the composition, colour and flavour properties of a Riesling and a wooded Chardonnay wine during five years' storage. *Aust J Grape Wine R ;* 11(3) : 369-77.

Somers, T.C., Verette, E. (1988). Phenolic composition of natural wine types. In : *Modern methods of plant analysis, Wine analysis*, Linskens, H.F., Jackson, J.F., Eds, Springer Verlag, 6, 219-57.

Somers, T.C., Ziemelis, G. (1985). Flavonol haze in white wines. *Vitis* ; 24 : 43-50.

25788_vins_blancs.indb 248 13-10-11 12:24 PM

Sonni, F., Clark, A.C., Prenzler, P.D., Riponi, C., Scollary, G.R. (2011). Antioxidant Action of Glutathione and the Ascorbic Acid/Glutathione Pair in a Model White. *Wine J Agric Food Chem ;* 59 : 3940-9.

Souquet, J.M., Cheynier, V., Brossaud, F., Moutounet, M. (1996). Polymeric proanthocyanidins from grape skins. *Phytochemistry* ; 43 : 509-12.

Stummer, B.E., Francis, I.L., Zanker, T., Lattey, K.A. & Scott, E.S. (2005). Effects of powdery mildew on the sensory properties and composition of Chardonnay juice and wine when grape sugar ripeness is standardised. *Australian Journal of Grape and Wine Research* ; 11 : 66-76.

Subileau, M., Schneider, R., *et al.* (2008). Nitrogen catabolite repression modulates the production of aromatic thiols characteristicof Sauvignon blanc at the level of precursor transport. *FEMS Yeast Res* ; 8 : 771-80.

Swiegers, J.H. and Pretorius, I.S. (2007). Modulation of volatile sulfur compounds by wine yeast. *Appl Microbiol Biotechnol ;* 74 : 954-60.

Tominaga, T., Peyrot des Gachons, C., *et al.* (1998). A New Type of Flavor Precursors in *Vitis Vinifera* L. cv. Sauvignon blanc : S-Cysteine Conjugates. *J Agric Food Chem* ; 46 : 5215-9.

Tominaga, T., Masneuf, I., *et al.* (1995). Mise en évidence d'un S-conjugué de la cystéine, précurseurs d'arôme du Sauvignon. *J Int Sci Vigne Vin ;* 29 : 227-32.

Verette, E., Noble, A., Somers, T.C. (1988). Hydroxycinnamates of *Vitis vinifera* : sensory assessment in relation to bitterness in white wines. *J Sci Food Agric ;* 45 : 267-72.

Waters, E.J., Pellerin, P., Brillouet, J.M. (1994). A wine arabinogalactan-protein that reduces heat-induced wine protein haze. *Biosci, Biotechnol, Biochem* ; 58 : 43-8.

Partie III – Aspects viticoles

Belancic, A., Agosin, E., Ibacache, A., Bordeu, E., Baumes, R., Razungles, A., Bayonove, C. (1997). Influence of Sun Exposure on the Aromatic Composition of Chilean Muscat Grape Cultivars Moscatel de Alejandria and Moscatel rosada. *Am J Enol Vitic ;* 48(2) : 181-6.

Boss, P., Thomas, M. (2002). Association of dwarfism and floral induction with a grape 'green revolution' mutation. *Nature* ; 416 : 847-50.

Bowers, J., Boursiquot, J.M., This, P., Chu, K., Johansson, H., Meredith, C. (1999). Historical genetics : The parentage of Chardonnay, gamay, and other wine grapes of northeastern France. *Science* ; 285(5433) : 1562-5.

Cahurel, J.-Y., Carbonneau, A., Dufourcq, T., De La Bretesche, A., Morlat, R., Murisier, F., Schneider, C., (2006). Premier rapport de la commission d'experts « mode de conduite du vignoble ». Principes généraux sur la conduite du vignoble. La vigne en espalier. *Progr Agr Vitic ;* 123(22) : 433-46.

Carbonneau, A. (1995). La surface exposée potentielle. Guide pour sa mesure. *Progr Agr Vitic ;* 112(9) : 204-2012.

Carbonneau, A., Cargnello, G. (2003). *Architecture de la vigne et systèmes de conduite*. Paris, Dunod.

Chaïb, J., Torregrosa, L., Mackenzie, D., Corena, P., Bouquet, A., and Thomas, M. (2010). The grape microvine – a model system for rapid forward and reverse genetics of grapevines. *Plant Journal ;* 62(6) : 1083-92.

Choné, X. (2001). Contribution à l'étude des terroirs de Bordeaux : Étude des déficits hydriques modérés, de l'alimentation en azote et de leurs effets sur le potentiel aromatique des raisins de *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 2.

Dufourcq, T., Charrier, F., Schneider, R., Serrano, E. (2007). Effets de l'exposition des grappes sur le potentiel aromatique des raisins et des vins de Colombard B et Melon B. Proceedings of the 8th Internationales ATW-Symposium « Technik im Weinbau » Stuttgart. KTBL Schrift ; 456 : 221-8.

25788_vins_blancs.indb 249 13-10-11 12:24 PM

Dufourcq, T., Davaux, F., Charrier, F., Poupault, P., Schneider, R. (2011). La fertilisation foliaire de la vigne et ses conséquences sur les moûts et les vins. *Revue des œnologues* ; 141s : 40-3.

Dufourcq, T., Desprats, A., Serrano, E., Lallemand, J., Roussel, S. (2010). Compréhension des leviers de la qualité aromatique des vins de Colombard produits en Gascogne à partir de données climatiques, agronomiques, œnologiques et analytiques. 33e Congrès mondial de l'OIV, Tbilisi (Géorgie) du 20 au 27 juin 2010.

Dufourcq, T., Gontier, L., Serrano, E., Ollat, N. (2005). Rapport surface foliaire et poids de récolte : incidences sur l'alimentation hydrique de la vigne, la qualité du moût, la qualité du vin à partir de quatre cépages de Midi-Pyrénées. *Proceedings of the 14th GESCO Symposium*, Geisenheim, Germany. Vol. 2, 567-573.

Geffroy, O., Dufourcq, T. (2010). Évaluation de 3 préparations biologiques appliquées par voie foliaire sur vigne pour corriger le statut azoté des moûts. Actes du colloque : « Journées Techniques de l'agriculture biologique », Angers, 21-30.

Gontier, L. (2013). Engrais verts en viticulture : incidence du type de couvert végétal et de son mode de destruction sur l'alimentation azotée de la vigne. Ciência e Técnica Vitivinicola 28, Proceedings 18th International Symposium GiESCO, Porto, 7-11 July, 299-304.

Goutouly, J.-P. (2010). L'azote chez la vigne : dynamique des besoins, de l'assimilation, du stockage et de la redistribution vers les fruits. Actes du colloque IFV Sud-Ouest : « L'azote : un élément clé en viticulture et œnologie », Toulouse, 4-8.

Hatzidimitriou, E., Bouchilloux, P., Darriet, P., Bugaret, Y., *et al.* (1996). Incidence d'une protection viticole anticryptogamique utilisant une formulation cuprique sur le niveau de maturité des raisins et l'arôme variétal des vins de Sauvignon. *J Int Sci Vigne Vin ;* 30(3) : 133-50.

Henschke, P.A., Jiranek, V (1992). Yeast – Metabolism of nitrogen compounds. In : *Fleet GH. Wine, microbiology and Biotechnology.* Harwood Academic Publishers, Sydney, 77 : 164.

Institut français de la vigne et du vin. http://www.vignevin-sudouest.com/publications/fiches-pratiques/pulverisation-azote-foliaire.php. En ligne, consulté en juillet 2013.

Institut national de la recherche agronomique (INRA) Domaine de Vassal, Centre de ressources génétique de la vigne, http://www1.montpellier.inra.fr/vassal/

Institut français de la vigne et du vin. Brochures techniques : Fertilisation de la vigne n° 1 à n° 9. http://www.vignevin.com/publications/brochures-techniques/fertilisation-de-la-vigne.html. En ligne, consulté en juillet 2013.

Institut français de la vigne et du vin. Fiches pratiques : la pulvérisation d'azote foliaire.

Jaillon, A., consortium FIp (2007). The grapevine genome sequence suggests ancestral hexaploidization in major angiosperm phyla. *Nature ;* 449 : 443-67.

Lacombe, T. (2009). La longue histoire des cépages, des origines à nos jours. Présenté à : Musée gallo-romain de Saint-Romain-en-Gal, Vienne, 4 juin 2009.

Maigre, D., Aerny, J., Murisier, F. (1995). Entretien des sols viticoles et qualité des vins de Chasselas : influence de l'enherbement permanent et de la fumure azotée. *Rev suisse Vitic, Arboric, Hortic ;* 27 : 237-51.

Murisier, F. & Zufferey, V. (1997). Rapport feuille-fruit de la vigne et qualité du raisin. *Rev suisse Vitic, Arboric, Hortic* ; 29(6) : 355-62.

Murisier, F. (1996). Optimisation du rapport feuille-fruit de la vigne pour favoriser la qualité du raisin et l'accumulation des glucides de réserve. Thèse de Docteur ès sciences techniques. École polytechnique fédérale de Zurich.

Ojeda, H. (2007). Irrigation qualitative de précision de la vigne. *Progr Agr Vitic ;* 124(7) : 133-41.

Poni, S., Casalini, L., Bernizzoni, F., Civardi, S., Intrieri, C. (2006). Effects of early defoliation on shoot photosynthesis, yield components, and grape quality. *Am J Enol Vitic ;* 57 : 397-407.

25788_vins_blancs.indb 250 13-10-11 12:24 PM

Reynolds, A., Lowrey, W.D., Tomek, L., Hakimi, J., de Savigny, C. (2007). Influence of irrigation on vine performance, fruit composition and wine quality of Chardonnay in a Cool, humid climate. *Am J Enol Vitic;* 58(2) : 217-28.

Schneider, R., Razungles, A., Charrier, F. et Baumes, R. (2002). Effet du site, de la maturité et de l'éclairement des grappes sur la composition aromatique des baies de *Vitis vinifera* L. cv Melon B dans le vignoble du Muscadet. *Bulletin de l'OIV* ; 75 : 269-82.

Serrano, E., Charrier, F., Dufourcq, T., Gaviglio, C., Raynal, M. (2009). Effeuillage de la vigne : intérêt pour la qualité du raisin et mécanisation. *Collection Itinéraire n° 20. Institut français de la vigne et du vin ed.*

Spring, J.-L., Zufferey, V. (2011). Irrigation : comportement de la vigne et qualité des vins de cépages blancs dans le Valais central. *Rev suisse Vitic, Arboric, Hortic;* 43(3) : 162-71.

Van Zyl, J.L. (1984). Response of Colombar grapevines to irrigation as regards quality aspects and growth. *S Afr J Enol Vitic;* 5(1) : 19-28.

Velasco, R., Zharkikh, A., Troggio, M., Cartwright, D.A., Cestaro, A., *et al.* (2007). A High Quality Draft Consensus Sequence of the Genome of a Heterozygous Grapevine Variety. PLoS ONE 2 : e1326.

Yuste, J., Vicente, A., Barajas, E. (2013). Agronomic, physiological and qualitative response of white variety Verdejo to irrigation and its management in the A.O. Rueda. *Ciência e Técnica Vitivinicola, 28, Proceedings 18th International Symposium GiESCO, Porto, 7-11 July*, 84-8.

Zufferey, V., Murisier, F., Vivin, Ph., Belcher, S., Lorenzini, F., Viret, O. (2012). Réserves en glucides de la vigne (cv. Chasselas) : influence du rapport feuille-fruit. *Rev suisse Vitic, Arboric, Hortic;* 44(4) : 216-24.

Partie IV – Aspects œnologiques

Agenbach, WA. (1977). A study of must nitrogen content in relation to incomplete fermentation, yeast production and fermentation activity. In : *Proceedings of South African Society for Enology and Viticulture*, 66-8.

AIVB-LR n° 11 (août 2010). Réduction des doses de SO_2 en vinification Bio. *Lettre d'information « Vins Bio ».*

Alexandre, H., Nguyen Van Long, T., Feuillat, M., Charpentier, C. (1994). Contribution à l'étude des bourbes : influence sur la fermentescibilité des moûts. *Rev Fr Œnol;* 34 : 11-20.

Andreasen, A.A. and Stier, T.J.B. (1953). Anaerobic nutrition of *Saccharomyces cerevisiae*. I. Ergosterol requirement for growth in a defined medium. *J Cell Comp Physiol;* 41 : 23-36.

Axcell, B., Kruger, L. and Allen, G. (1988). Some investigative studies with yeast foods. In : *Proceedings of the 20th Convention of the Institute of Brewing* (Australia and New Zealand Section), Institute of Brewing ed., Sydney, Australia, 201-9.

Barbe, J.-C. (2000). La combinaison du dioxyde de soufre dans les moûts et vins issus de raisins botrytisés. Rôle des bactéries acétiques. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 2.

Barbosa, C., Falco, V., Mendes-Faia, A., Mendes-Ferreira, A. (2009). Nitrogen addition influences formation of aroma compounds, volatile acidity and ethanol in nitrogen deficient media fermented by Saccharomyces cerevisiae wine strains. *J Biosc Bioeng;* 108 : 99-104.

Bayanove, C., Cabaroglu, T., Dufour, C., Razungles, A., Sapis, J.-C., *et al.* (1995). Influence du collage sur le potentiel variétal du vin. CR 21e congrès mondial de la vigne et du vin. *Œnologie, OIV;* 150-61.

Bayonove, C., Cordonnier, R., Boidron, J.-N., Diaz, C., Brugirard, A., Torres, P. (1982). Amélioration de la qualité aromatique des vins doux naturels Muscats. *Colloque CIVDN*. Perpignan. Bulletin technique des P.O.

Belin J.-M. (1979). Contribution à l'étude des levures des chais – Taxonomie, répartition des levures. *Mycopathologia;* 67(2) : 67-81.

25788_vins_blancs.indb 251 13-10-11 12:24 PM

Bell, S.J., Henschke, P.A. (2005). Implications of nitrogen nutrition for grapes, fermentation and wine. *Aust J Grape Wine Res ;* 11(3) : 242-95.

Beltran, G., Esteve-Zarzoso, B., Rozes, N., Mas, A., Guillamon, J. (2005). Influence of the timing of nitrogen additions during synthetic grape must fermentations on fermentation kinetics and nitrogen consumption. *J Agric Food Chem ;* 53 : 996-1002.

Bely, M., SablayRolles, J.M., Barre, P. (1990). Automatic detection of assimilable nitrogen deficiencies during alcoholic fermentation in enological conditions. *J Ferm Bioeng ;* 70(4) : 246-52.

Bely, M., Masneuf-Pomarède, I., Dubourdieu, D. (2005). Influence de l'état physiologique de l'inoculum sur la production d'acidité volatile par *Saccharomyces cerevisiae* au cours de la fermentation de moûts riches en sucre. *J Int Sci Vigne Vin ;* 039-004.

Bertrand, A. (1981). Influence de la nature des levures et des conditions de leur développement sur la production des arômes et des conditions de leur stabilité. In : Ribéreau-Gayon, P., Sudraud, P. (01981). *Actualités œnologiques et viticoles*, Paris, Dunod, 266-73.

Bertrand, A., Artajona-Seerrano, J., Ollivier, C. (1987). Incidence du débourbage et rôle des lipides sur la formation par les levures des produits secondaires lors de la vinification en blanc. *CR Act Rech Inst Oenol Bordeaux* 1984-1986 ; 69-17.

Bidan, P. (1998). Vins mousseux : méthode de transfert, cuve close, élaboration en continu, vins mousseux gazéifiés (ou carboniques), 840-3. *In : Œnologie : fondements scientifique et technologiques*. C. Flanzy (ed.). Paris, Tec & Doc Lavoisier, coll. « Sciences et techniques agroalimentaires ».

Bilger, W., Veit, M., Schreiber, L., Schreiber, U. (1997). Measurement of leaf epidermal transmittance of UV radiation by chlorophyll fluorescence. *Physiol. Plant ;* 101 : 754-63.

Blateyron, L., Aguera, E., Dubois, C., Gerland, C., SablayRolles, J.M. (1998). Control of oxygen additions during alcoholic fermentations. *Vitic Enol Sci ;* 53(3) : 131-5.

Blateyron, L., SablayRolles, J.M. (2001). Stuck and slow fermentations in enology : statistical study of causes and effectiveness of combined additions of oxygen and diammonium phosphate. *J Biosc Bioeng ;* 91 : 184-9.

Bloem, A., Lonvaud-Funel, A., *et al.* (2008). Hydrolysis of glycosidically bound flavour compounds from oak wood by *Oenococcus oeni*. *Food Microbiology* ; 25(1) : 99-104.

Blouin, J., Peynaud, E. (2001). *Connaissance et travail du vin*. Paris, Éd. La Vigne – Dunod.

Blouin, J. (1993). Le SO_2 : Qu'en savons-nous en 1993 ? *Revue des Œnologues* ; 67 : 13-7.

Boidron, J.-N., Chatonnet, P., *et al.* (1988). Influence du bois sur certaines substances odorantes des vins. *ConnVigne Vin* ; 22 : 275-94.

Boissier, B., Lutin, F., Moutounet, M., Vernhet, A. (2008). Particle deposition during the cross-flow microfiltration of red wines : incidence of the hydrodynamic conditions and the yeast to fine ratio. *Chemical Engineering and Processing* ; 47 : 276-86.

Boulton, R.B., Singleton, V.L., Bisson, L.F. and Kunkee, R.E. (1996). Preparation of musts and juice, 65-101. In : *Principles and practices of winemaking*. Ed. Chapman et Hall, International Thomson Publishing, NewYork.

Cabanis, J.-C., Flanzy, C. (1998). Lipides, 3-34. *In : Œnologie : fondements scientifique et technologiques*. C. Flanzy (ed.). Paris, Tec & Doc Lavoisier, coll. « Sciences et techniques agroalimentaires ».

Cabaroglu, T., Razungles, A., Baumes, R., Gunata, Z. (2003). Effect of fining treatments on the aromatic potential of white wines from Muscat Ottonel and Gewürztraminer cultivars. *Sciences des Aliments* ; 23 : 411-23.

Cabello-Pasini, A., Victoria-Cota, N., Macias-Carranza, V., Hernandez-Garibay, E., Muniz-Salazar, R. (2005). Clarification of wines using polysaccharides extracted from seaweeds. *Am J Enol Vitic ;* 56 : 52-9.

25788_vins_blancs.indb 252 13-10-11 12:24 PM

Carbonneau, A. (1998). Récolte et qualité du raisin. *In : Œnologie : fondements scientifique et technologiques.* C. Flanzy (ed.). Paris, Tec & Doc Lavoisier, coll. « Sciences et techniques agroalimentaires », 647-68.

Casalta, E., Aguera, E., Lienard, P., Salmon, J.M. (2009). Physical dynamics of sludges during wine fermentation in liquid phase. *J Int Sci Vigne Vin ;* 43(4) : 225-30.

Casalta, E., Aguera, E., Picou, C., Rodriguez-Bencomo, J.J., Salmon, J.M., SablayRolles, J.M. (2010). A comparison of laboratory and pilot-scale fermentations in winemaking conditions. *Appl Microbiol Biotechnol* ; 87 : 1665-37.

Casalta, E., Cervi, M.F., Salmon, J.M., SablayRollesn, J.M. (2013). Effect of combined levels of assimilable nitrogen and grape solids on alcoholic fermentation under enological conditions. *Aust J Grape Wine Res ;* 19 : 47-52.

Castellari, M., Simonato, B., Tornielli, G.B., Spinelli, P., Ferrarini, R. (2004). Effects of different enological treatments on dissolved oxygen in wines. *Italian Journal of Food Science* ; 16(3) : 387-96.

Cayla, L., Cottereau, P., Masson, G., Guerin, L. (2009). Les enzymes en œnologie ; 1er volet : Intérêt dans les opérations préfermentaires sur vin rosé. *Rev Fr Œnol ;* 234 (Cahier Technique) : 2-9.

Cerovic, Z.G., Moise, N., Agati, G., Latouche, G., Ben Ghozlen, N., Meyer, S. (2008). New portable optical sensors for the assessment of winegrape phenolic maturity based on berry fluorescence. *J Food Comp Anal ;* 21 : 650-4.

Chatonnet, P., Dubourdieu, D., *et al.* (1992). Incidence of fermentation and aging conditions of dry white wines in barrels on their composition in substances yielded by oak wood. *Sciences des Aliments* ; 12(4) : 665-85.

Cheynier, V., Souquet, J.M. and Moutounet, M. (1989). Glutathion Contentang Glutathione to Hydroxycinnamic Acid Ratio in *Vitis vinifera* Grapes and Musts. *Am J Enol Vitic ;* 40(4) : 320-4.

Cheynier, V., Rigaud, J., *et al.* (1990). Must Browning in Relation to the Behavior of Phenolic Compounds During Oxidation. *Am J Enol Vitic ;* 41(4) : 346-9.

Cheynier, V., Basire, N., *et al.* (1989). Mechanism of trans-caffeoyltartaric acid and catechin oxidation in model solutions containing grape polyphenoloxidase. *J Agric Food Chem ;* 37(4) : 1069-71.

Chrétien, P. (2001). Étude de la dissémination des levures industrielles dans l'environnement des caves vinicoles. Mémoire de fin d'étude, École supérieure d'agriculture, Angers.

Coarer, M., Charrier, F., Poulard, A. (1999). Microflore et typicité des vins. Actes du XXIVe Congrès mondial de la vigne et du vin, Mayence, 123-30.

Colombie, S., Malherbe, S., SablayRolles, J.M. (2005). Modeling alcoholic fermentation in enological conditions : feasibility and interest. *Am J Enol Vitic ;* 56 : 238-45.

Cottereau P., *et al.* (2011). Choix de la souche de levure : conséquence sur la concentration finale en SO_2. XXVIe *Congrès mondial de la vigne et du vin,* Porto.

Crachereau, J.-C., Gabas, N., Blouin, J., Maujean, A. (2001). Stabilisation tartrique des vins pas la carboxymethylcellulose (CMC). *Bulletin de l'OIV ;* 841-42.

Cutzach-Billard, I. (2006). Influence de la souche de levure sur la revelation des thiols volatils sur les Muscats secs à base de Muscats petit grain et d'Alexandrie. *Rev Fr Œnol* , 220 : 20-4.

Cutzach- Billard, I. (1999). Étude sur les vins doux naturels non muscatés au cours de leur élevage et de leur vieillissement. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 2.

Cutzach, I., Chatonnet, P. and Dubourdieu, D. (1998). Rôle du sotolon dans l'arôme des vins doux naturels, influence des conditions d'élevage et de vieillissement. *J Int Sci Vigne Vin ;* 32 : 223-33.

Cutzach, I., Chatonnet, P., *et al.* (1997). Identification of volatile compounds with a « toasty » aroma in heated oak used in barrelmaking. *J Agric Food Chem ;* 45(6) : 2217-24.

Davin, A., Sahraoui, A. (1993). Débourbage rapide des moûts de raisin par flottation à l'aide de bulles générées au sein du liquide par dépressurisation. *Rev Fr Œnol ;* 140 : 53-63.

25788_vins_blancs.indb 253 13-10-11 12:24 PM

Debuisson, S., Grelier, M., Panigai, L. (2009). Mesure de la végétation avec un capteur NDVI embarqué. *Le Vigneron Champenois*, décembre, 52-71.

Deloire, A. (2007). Les potentialités aromatiques du raisin : influence des itinéraires culturaux. Exemple du Sauvignon blanc (*Vitis vinifera* L.) (Mini revue bibliographique et résultats originaux). *Paysan du Midi ;* 3144 : 9-11.

Dequin, S. (2011). Low-alcohol yield yeast : a way to carry on ? *Enoforum*, Arrezzo, Italie.

Dieval, J.B. (2006). Évaluation des apports d'oxygène dans la chaîne technologique de conditionnement des vins blancs de Bourgogne. Mémoire ENITA, Bordeaux.

Divol, B. (2004). La microbiologie des vins issus de raisins botrytisés au cours de l'élevage. Caractérisation des souches de *Saccharomyces cerevisiae* responsables des refermentations. Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse.

Donèche, B. (1987). Étude biochimique de la relation hôte-parasite dans le cas du raisin et de *Botrytis cinerea*. Thèse de doctorat ès Sciences, Université de Bordeaux 2.

Dubourdieu, D. (1978). Étude des polysaccharides sécrétés par *Botrytis cinerea* dans la baie de raisin. Incidence sur les difficultés de clarification des vins de vendanges pourries. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 2.

Dubourdieu, D. (1999). La vinification des vins liquoreux de pourriture noble. *Rev Fr Œnol ;* 176 : 32.

Dufourcq, T., Schneider, R., Renard, R., Serrano, E. (2006). Incidences du climat, du sol, de la date de récolte sur le potentiel aromatique du cépage Colombard en Gascogne. *VIe congrès international des terroirs viticoles* 2006.

Dufrechou, M., Poncet-Legrand, C., Sauvage, F.X., Vernhet, A. (2012). Stability of White Wine Proteins : Combined Effect of pH, Ionic Strength, and Temperature on Their Aggregation. *J Agric Food Chem ;* 60 : 1308-1319.

Escudero, A., Hernadez-Orte, P., Cacho, J. & Ferreira, V. (2000b). Clues about the role of methional as character impact odorant of some oxidized wines. *J Agric Food Chem ;* 48 : 4268-72.

Fernandez, O., Bajard-Sparrow, C., Fauveau, C., Pellerin, P. (2005). Optimisation des étapes préfermentaires des vendanges blanches avec une formulation enzymatique adaptée – Bilan des essais réalisés en France au cours de la campagne de vinification 2004. *Rev Œnol ;* 116 : 29-31.

Fernandez-Zubano, P., Ferreira, V., Pena, C., Escudero, A., Serrano, F., Cacho, J. (1995). Prediction of oxidative browning in white wines as a function of their chemical composition. *J Agric Food Chem ;* 43 : 2813-7.

Ferrari, G. and Feuillat, M. (1988). L'élevage sur lies des vins blancs de Bourgogne. I. Étude des composés azotés, des acides gras et analyse sensorielle des vins. *Vitis ;* 27 : 183-97.

Ferrarini, R., Zironi, R., Celotti, E., Buiatti, S. (1992). Premiers résultats de l'application de la flottation dans la clarification des moûts de raisins. *Rev Fr Œnol ;* 124 : 58-64.

Ferreira, A.C.S., Hogg, T. & Ghedes de Pinho, P. (2003a). Identification of key odorants related to the typical aroma of oxidation-spoiled white wines. *J Agric Food Chem ;* 51 : 1377-81.

Ferreira, A.C.S., Guesdes De Pinho, P., Rodrigues, P., Hogg, T. (2002). Kinetics of oxidative degradation of white wines and how they are affected by selected technological parameters. *J Agric Food Chem ;* 50 : 5919-24.

Feuillat, M. (1998). Autolyse des levures. *In : Œnologie : fondements scientifique et technologiques*. C. Flanzy (ed.). Paris, Tec & Doc Lavoisier, coll. « Sciences et techniques agroalimentaires », 444-54.

Feuillat, M., Freyssinet, M., *et al.* (1989). L'élevage sur lies des vins blancs de Bourgogne. Évolution des macromolécules : polysaccharides et protéines. *Vitis ;* 28 : 161-76.

Fornairon, C., Mazauric, J.-P., Salmon, J.-M., Moutounet, M. (1999). Observations sur la consommation de l'oxygène pendant l'élevage des vins sur lies. *J Int Sci Vigne Vin ; 33*(4) : 79-86.

25788_vins_blancs.indb 254 13-10-11 12:24 PM

Fornairon-Bonnefond, C. (2000). Réactivité postfermentaire de *Saccharomyces cerevisiae* vis-à-vis de l'oxygène en conditions œnologiques : application à l'élevage de vins sur lies. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II. 257 pages.

Fornairon-Bonnefond, C., Aguera, E., *et al.* (2003). Impact of oxygen addition during enological fermentation on sterol contents in yeast lees and their reactivity towards oxygen. *Journal of Bioscience and Bioengineering ;* 95(5) : 496-503.

Gaillard, M., Favarel, J-L., Berty, M., Colombe, M.-P. (1989). Comparaison des différentes techniques de clarification des moûts. *Rev Fr Œnol ;* 153 : 69-74.

Galeote, V., Bigey, F., Legras, J.-L., Cambon, B. and Dequin, S. (2011). Diversity, horizontal gene transfer and mobile elements in wine yeasts. *ESF-EMBO Symposium*, San Feliu de Guixol, Espagne.

Geraudie, V., Roger, J.-M., Ojeda, H. (2010). Développement d'un appareil permettant de prédire la maturité du raisin par spectroscopie proche infra-rouge (PIR). *Rev Fr Œnol ;* 240 : 2-8.

Gerbaud, V., Gabas, N., Laguerie, C., Blouin, J., Vidal, S., *et al.* (1996). Effet des polysaccharides et des polyphénols totaux sur la cristallisation de l'hydrogéno-tartrate de potassium dans les solutions hydroalcooliques modèles et dans les vins. *J Int Sci Vigne Vin ;* 31 : 65-83.

Groat, M. and Ough, C.S. (1978). Effects of insoluble solids added to clarified musts on fermentation rate, wine composition and wine quality. *Am J Enol Vitic ;* 29 : 112-29.

Guerin, L., Anneraud, C., Davaux, F., Solanet, D., Vinsonneau, E., *et al.* (2010). Les enzymes en œnologie ; 2e volet : Intérêt dans les opérations préfermentaires sur vins rouges. *Rev Fr Œnol ;* 244 (Cahier Technique) : 7-18.

Guérin, L., Béguin, J., Charrier, F., Meistermann, E., Schneider, R., Crachereau, J.-C. (2013). Les enzymes en œnologie ; 3e volet : Intérêt dans les opérations préfermentaires sur vin blanc. *Rev Fr Œnol ;* 256 : 2-12.

Guichard, E., Pham, T.T., Etievant, P. (1993). Quantitative determination of sotolon in wines by high-performance liquid chromatography. *Chromatographia ;* 37 : 539-41.

Guillou-Largeteau, I. (1996). Étude de substances de faible poids moléculaire combinant le dioxyde de soufre dans les vins blancs issus de vendange botrytisée. Mise en évidence et importance du rôle de l'hydroxypropanedial. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 2.

Guilloux-Benatier, M., Guerreau, J., Feuillat, M. (1995). Influence of initial colloid content on yeast macromolecules production on the metabolism of wine organisms. *Am J Enol Vitic ;* 46 : 486-92.

Guilloux-Benatier, M., Son, H.-S., Bouhier, S., Feuillat, M. (1993). Activités enzymatiques glycosidase et peptidase chez *Leuconostoc oenos* au cours de la croissance bactérienne. Influence des macromolécules. *Vitis ;* 32 : 51-7.

Hernandez-Orte, P., Bely, M., Cacho, J., Ferreira, V. (2006). Impact of ammonium additions on volatile acidity, ethanol, and aromatic compound production by different *Saccharomyces cerevisiae* strains during fermentation in controlled synthetic media. *Aust J Grape Wine Res ;*12 : 150-60.

Hernawan, T. and Fleet, G. (1995). Chemical and Cytological Changes during the Autolysis of Yeasts. *Journal of Industrial Microbiology ;* 14(6) : 440-50.

Hervé de Penhoat, C., Michon, V., *et al.* (1991). Structural elucidation of new dimeric ellagitanins from Quercus robur L. Roburins A.E. *J Chem Soc Perkin Trans ;* 1 : 1653-60.

Hoj, P.B., Tattersall, D.B., Adams, K., Pocock, K.F., Hayasaka, Y., van Heeswijck, R., Waters, E J. (2001). The "haze proteins" of wine – a summary of properties, factors affecting their accumulationin grapes, and the amount of bentonite required for their removal from wines. In : *Proceedings of the ASEV 50th Anniversary Meeting*, Seattle, Washington, USA. American Society of Enology and Viticulture : Davis, California.

Houtman, A.C. and Du Plessis, C.S. (1986). Nutritional deficencies of clarified white grape juices and their correction in relation to fermentation. *S Afr J Enol Vitic ;* 1 : 39-46.

25788_vins_blancs.indb 255 13-10-11 12:24 PM

Jones, R.P. and Greenfield, P.F. (1982). Effect of carbon dioxide on yeast growth and fermentation. *Enz Microbiol Technol* ; 4 : 210-23.

Karbowiak, T., Gougeon, R.D., Alinc, J.B., Brachais, L., Debeaufort, F., *et al.* (2009). Wine Oxidation and the Role of Cork. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition ;* 50(1) : 20-52.

Lamuela-Raventos, R.M., Huix-Blanquera, M., Waterhouse, A.L. (2001). Treatments for pinking alteration in white wines. *Am J Enol Vitic ;* 52 : 156-8.

Larue, F., Geneix, C., Lafon-Lafourcade, S., Bertrand, A., Ribereau-Gayon, P. (1985). Premières observations sur le mode d'action des écorces de levures. *Conn Vigne Vin* ; 18 : 155-63.

Lavigne, V., Pons, A., Dubourdieu, D. (2006). Assay of glutathione in must and wines using capillary electrophoresis and laser–induced fluorescence detection. Changes in concentration in dry white wines during alcoholic fermentation and aging. *J Chrom A ;* 1139 : 130-5.

Lavigne, V. (1996). Recherches sur les composés soufrés volatils formés par la levure au cours de la vinification et de l'élevage des vins blancs secs. Thèse de doctorat, Université Bordeaux 2.

Lavigne, V. et Duboudieu, D. (1996). Mise en évidence et interprétation de l'aptitude des lies à eliminer certains thiols volatils du vin. *J Int SciVigne Vin* ; 30 : 201-6.

Lavigne, V., Pons, A., Choné, X., Dubourdieu, D. (2003). Rôle du glutathion sur l'évolution aromatique des vins blancs secs. *Actes du 7e Symposium International d'Œnologie*. Paris, Tec & Doc Lavoisier, 385-8.

Lavigne, V., Pons, A., Dubourdieu, D. (2008). Assaying sotolon in wine. Changes in the sotolon content of dry whites wines during barrel aging. *J Agric Food Chem* ; 56 : 2688-93.

Lavigne-Cruège, V. & Dubourdieu, D. (2002). Role of glutathione on development of aroma defects in dry white wines. In *13th International Enology Symposium,* Montpellier, 331-47.

Lavigne-Cruège, V., Pons, A., *et al.* (2003). Rôle du glutathion sur l'évolution aromatique des vins blancs secs. *Œnologie 2003*, Bordeaux, Tec&Doc, Paris.

Legras, J.-L. (2003). Étude de la flore levurienne de différents terroirs alsaciens. Actes du colloque international : Les terroirs viticoles. Concept. Produit. Valorisation, 469-71, Angers.

Liyanage, C., Luvisi, D.A. and Adams, D.O (1993). The Glutathione Content of Grape Berries Is Reduced by Fumigation With Methyl Bromide or Methyl Iodide. *Am J Enol Vitic ;* 44(1) : 8-12.

Llauberes, M., Dubourdieu, D., Villetaz, J.C. (1987). Exocellular polysaccharides from Sacchromyces in Wine. *J. Sci Food Agric* ; 41 : 277-86.

Lollier, M. (2003). Diversité, évolution et transferts de la vigne au vin des flores levuriennes indigènes d'intérêt œnologique en Alsace. Session de formation IFV, Ostheim.

Lonvaud-Funel, A. (1988). Production d'acides gras par *Saccharomyces cerevisiae*. Utilisation des écorces de levures en vinification. In : *Commission des communautés européennes. Progamme COMETT (1988).* Application à l'œnologie des progrés récents en microbiologie et en fermentation, OIV, Paris, 159-170.

Lubbers, S., Voilley, A., *et al.* (1994). Influence of mannoproteins from the yeast on the aroma intensity of a model wine. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* ; 27 : 108-14.

Lubbers, S., Charpentier, C., Feuillat, M., Voilley, A. (1994). Influence of yeast walls on the behavior of aroma compounds in a model wine. *Am J Enol Vitic ;* 45 : 29-33.

Luparia, V., Soubeyrand, V., Berges, T., Julien, A. and Salmon, J.M. (2004). Assimilation of grape phytosterols by *Saccharomyces cerevisiae* and their impact on enological fermentations. *Appl Microbiol Biotechnol ;* 65 : 25-32.

Malherbe, S. (2003). Modélisation de la fermentation alcoolique en conditions œnologiques. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II.

25788_vins_blancs.indb 256 13-10-11 12:24 PM

Manteau, S., Sauvage, F.-X., Poinsaut, P., Scotti, B., Sieczkowski, N., Moutounet, M. (2006). Haze in white wine : Involvement of proteins other than Pathogenesis-Related proteins in spontaneous haze, in *Macromolecules and Secondary Metabolites of Grape and Wine*. Reims : Intercept Publishers – Lavoisier.

Marangon, M., Lucchetta, M., Duan, D., Stockdale, V.J., Hart, A., Rogers, P.J., Waters, E.J. (2012). Protein removal from a Chardonnay juice by addition of carrageenan and pectin. *Australian Journal of Grape and Wine Research ;* 18 : 194-202.

Marchal, A., Waffo-Teguo, P., *et al.* (2011). Identification of New Natural Sweet Compounds in Wine Using Centrifugal Partition Chromatography-Gustatometry and Fourier Transform Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry* ; 83(24) : 9629-37.

Marullo, P., Bely, M., Masneuf-Pomarede, I., Pons, M., Aigle, M., & Dubourdieu, D. (2006). Breeding strategies for combining fermentative qualities and reducing off-flavor production in a wine yeast model. *FEMS Yeast Research* ; 6(2) : 268-79.

Masneuf-Pomarede, I., Mansour, C., Murat, M.L., Tominaga, T., Dubourdieu, D. (2006). Influence of fermentation temperature on volatile thiols concentrations in Sauvignon blanc wines. *Int J Food Microb ;* 108 : 385-90.

Masson, E., Baumes, R., *et al.* (2000). The effect of kiln-drying on the levels of ellagitannins and volatile compounds of European oak (*Quercus petraea* Liebl.) stave wood. *Am J Enol Vitic ;* 51(3) : 201-14.

Masson, G. (1996). Composition chimique du bois de chêne de tonnellerie. Essai de discrimination des espèces et des forêts. Thèse de doctorat, Université de Montpellier.

Masson, G., Guichard, E., *et al.* (1995). Stereoisomers of beta-methyl-gamma-octalactone .2. Contests in the wood of French (*Quercus robur* and *Quercus petraea*) and American (*Quercus alba*) oaks. *Am J Enol Vitic ;* 46(4) : 424-8.

Masson, G., Puech, J.L., *et al.* (1996). Composition chimique du bois de chêne de tonnellerie. *Bulletin de l'Office international de la Vigne et du Vin*, 785-6 : 635-57.

Masson, G., Baumes, R., *et al.* (1997). Demonstration of the presence of carotenoids in wood : Quantitative study of cooperage oak. *J Agric Food Chem ;* 45(5) : 1649-52.

Masuda, M. (1984). Identification of sotolon and ethyl 9-hydroxynonate in botrised wine and evaluation of the roles of compounds characteristic of it. *Agric Biol Chem ;* 48 : 2707-10.

Maujean, A. (2001). La chimie du soufre dans les moûts et les vins. *J Int Sci Vigne Vin ;* 35(4) : 171-94.

Mayer, W., Gabler, W., *et al.* (1967). Die Isolierung von Castalgin, Vescalagin, Castalin und Vescalin. *Liebigs Ann Chem ;* 707 : 177-81.

Moine-Ledoux, V. (1996). Recherches sur le rôle des mannoprotéines de levure vis-à-vis de la stabilisation protéique et tartrique des vins. Thèse de doctorat, Université Bordeaux 2.

Moutounet, M., Escudier, J.-L., Saint-Pierre, B. (1994). L'électrodialyse, adaptation à la stabilisation tartrique des vins, In : *Les acquisitions récentes dans les traitements physiques du du vin*, Donèche B. (ed.). Paris, Tec & Doc Lavoisier, 103-16.

Moutounet, M., Mazauric, J., *et al.* (1998). Échanges gazeux des vins logés en barriques. *Journal des Sciences et techniques de la Tonnellerie ;* 4 : 115-45.

Moutounet, M., Rabier, P., *et al.* (1989). Analysis by HPLC of extractable substances in oak wood – application to a chardonnay wine. *Sciences des Aliments ;* 9(1) : 35-51.

Nabeta, K., Yonekubo, J., *et al.* (1986). Analysis of volatile consituents of European and Japanese oaks. *Mokuzai Gakkaishi ;* 32 : 921-7.

Nikolantonaki, M. (2010). Incidence de l'oxydation des composés phénoliques sur la composante aromatique des vins blancs. Thèse de doctorat, Université Bordeaux 2.

25788_vins_blancs.indb 257 13-10-11 12:24 PM

Nikolantonaki, M., Chichuc, I., *et al.* (2009). Reactivity of volatile thiols with polyphenols in a wine-model medium : Impact of oxygen, iron, and sulfur dioxide. *Analytica Chimica Acta ;* 660 : 102-9.

Nishimura, K.M., Ohnishi, M., *et al.* (1983). Reactions of wood components during maturation. *Flavour of distilled beverages. Origin and development.* Chichester, Ellis Horwood, 241-55.

Oliveira, C.M., Ferreira, A.C.S., De Freitas, V., Silva, A.M.S. (2011). Oxidation mechanisms occurring in wines. *Food Research International* ; 44 : 1115-26.

Ollivier, C., Stonestreet, T, Larue, F., Dubourdieu, D. (1987). Incidence de la composition colloïdale des moûts blancs sur leur fermentescibilité. *Conn Vigne Vin* ; 21 : 59-70.

Patel, P., Herbst-Johnstone, M., *et al.* (2010). Influence of Juice Pressing Conditions on Polyphenols, Antioxidants, and Varietal Aroma of Sauvignon blanc Microferments. *J Agric Food Chem ;* 58(12) : 7280-8.

Pocock, K.F., Hoj, P.B., Adams, K.S., Kwiatwowski, M.J., Waters, E. (2003). Combined heat and proteolytic enzyme treatment of white wines reduces haze forming protein content without detrimental effect. *Australian Journal of Grape and Wine Research* ; 9 : 56-63.

Pons, A. (2006). Recherches sur l'arôme de vieillissement prématuré des vins. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux II.

Pons, A., Lavigne, V., Landais, Y., Darriet, P., Dubourdieu, D. (2010). Identification of a Sotolon Pathway in Dry White Wines. *J Agric Food Chem ;* 58 : 7273-9.

Pons, A., Lavigne-Cruege, V., Landais, Y., Darriet, P., Dubourdieu, D. (2008). Distribution and organoleptic impact of sotolon enantiomers in dry white wines. *J Agric Food Chem ;* 56 : 1606-10.

Poulard, A., Chrétien, P., Lamberts, A., Pain, A., Coarer, M. (2007). Dissémination des levures industrialisées dans l'environnement viti-vinicole des caves. Congrès national de la Société française de microbiologie, Nantes.

Puech, C., Vidal, S., Pegaz, J.-F., Riou, C., Vuchot, P. (2006). Influence des conditions de conservation des vins en bouteille sur leur évolution. *Revue des Œnologues* ; 121 : 13-6.

Rabier, P. et Moutounet, M. (1991). Évolution d'extractibles de bois de chene dans une eau-de-vie de vin. Incidence du thermotraitement des barriques. *Les eaux-de-vie traditionnelles d'origine viticole.* Bordeaux, Tec & Doc Lavoisier.

Rapp, A., Versini, G. und Ullemeyer, H. (1993). 2-Aminoavetophenon : Verursachende Komponente der „untypischen Alterungsnote" („Naphthalinton", Hybridton") bei Wein. *Vitis* ; 32 : 61-2.

Renault, P.-E. (2010). Caractérisation phénotypique de l'espèce *Torulaspora delbrueckii* en conditions œnologiques. Application à la co-inoculation avec l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux II.

Renault, P.-E., Ehsani, M., Bely, M. (2010). Les non-*Saccharomyces* et leur expression lors de la fermentation alcoolique : cas spécifique de *Torulaspora Delbrueckii. Rev Fr Œnol ;* 242.

Renouf, V., Miot-Sertier, C., Strehaiano, P., Lonvaud-Funel, A. (2006). Le consortium microbien du vin : une réelle caractéristique du terroir. *Journal international des sciences de la vigne et du vin* ; 40(4) : 209-16

Renouil, Y. et Ferret, C. (1998). *Dictionnaire du vin*. Boulogne-sur-Seine, Sezame.

Ribéreau-Gayon, P. (1985). New development in wine microbiology. *Am J Vitic* ; 36 : 1-10.

Ribéreau-Gayon, P., Lafon-Lafourcade, S. And Bertrand, A. (1975). Le débourbage des moûts de vendange blanche. *Conn Vigne Vin* ; 9 : 117-38.

Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., Lonvaud, A. (1998). Tome 1, Microbiologie du vin, Vinifications. In : *Traité d'œnologie*. Paris, Dunod, 345.

Ripperger, S., Altmann, J. (2002). Cross-flow microfiltration – state of the art. *Separation and Purification Technology ;* 26 : 19-31.

25788_vins_blancs.indb 258 13-10-11 12:24 PM

Roger, J.-M., De Rudnicki, V., (2009). État de l'art des capteurs et technologies en viticulture et œnologie – *Actes de colloque Vinséo* « Et si le vin était produit par des robots ? », 30-33, Montpellier, Vinseo.

Roland, A., Schneider, R., Razungles, A., Cavelier, F. (2011). Varietal Thiols in Wine : Discovery, Analysis and Applications. *Chem Rev* ; 111 : 7355-76.

Roland, A., Vialaret, J., *et al.* (2010). Évolution of S-cysteinylated and S-glutathionylated thiol precursors during oxidation of Melon B. and Sauvignon blanc musts. *J Agric Food Chem ;* 58(7) : 4406-13.

Roland, A. Schneider, R., *et al.* (2011). Varietal Thiols in Wine : Discovery, Analysis and Applications. *Chemical Reviews ;* 111 : 7355-76

Roland, A., Schneider, R., *et al.* (2010). Distribution of varietal thiol precursors in the skin and the pulp of Melon B. and Sauvignon blanc grapes. *Food Chem* ; 125 : 139-44.

Rolle, L., Siret, R., Segade, S.R., Maury, C., Gerbi, V., Jourjon, F. (2012). Instrumental texture analysis parameters as markers of table-grapa and winegrape quality A Review. *Am J Enol Vitic ;* 63(1) : 11-28.

Sablayrolles, J.M. (2009). Control of alcoholic fermentation in winemaking. Current situation and prospects. *Food Res Int* ; 42 : 418-24.

Sablayrolles, J.M., Dubois, C., Manginot, C., Roustan, J.L., Barre, P. (1996). Effectiveness of ammoniacal nitrogen and oxygen combined additions during sluggish and stuck wine fermentations. *J Ferm Bioeng ;* 82 (4) : 361-5.

Salmon, J.-M., Fornairon, C., Moutounet, M. (1999). Modification chimique des lies consécutives à l'apport d'oxygène pendant l'élevage des vins sur lies, In : *Œnologie 99, 6e Symposium international d'œnologie*, Tec & Doc Lavoisier, 428-32.

Sarazin, E., Dubourdieu, D. and Darriet, P. (2007). Characterization of key-aroma compounds of botrytized wines, influence of grape botrytization. *Food Chem ;* 103 : 536-45.

Sarrazin, E. (2007). Recherches sur l'arôme des vins liquoreux de pourriture noble issus des cépages Sémillon et Sauvignon blanc : caractérisation de composés clés et étude de leur genèse. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 2.

Sarrazin, E., Shinkaruk, S., Pons, M., Thibon, C., Bennetau, B., Darriet, P. (2010). Elucidation of the 1,3-sulfanylalcohol oxidation mechanism : an unusual identification of the disulfide of 3-sulfanylhexanol in sauternes botrytized wines. *J Agric Food Chem ;* 58(19) : 10606.

Sauvage, F.X., Bach, B., Moutounet, M., Vernhet, A. (2010). Proteins in white wines : thermosensibility and differential adsorption by bentonite. *Food Chem* ; 118 : 26-34.

Schneider, R., Charrier, F., *et al.* (2006). Evidence for an alternative biogenetic pathway leading to 3-mercaptohexanol and 4-mercapto-4-methylpentan-2-one in wines. *Analytica Chimica Acta* ; 563(1-2) : 58-64.

Seguin, A., Torres, P. (1989). Couleur et arômes des vins doux naturels. Publication interne CIVDN.

Serrano, E. (2011). Des capteurs au service de la caractérisation du raisin – État des lieux. *Journée Technique « Caractérisation de la matière première »,* IFV Pôle Val-de-Loire.

Serrano, E., Dias, F., Dufourcq, T. (2010). Les nouvelles technologies pour renseigner du statut azoté des raisins. Recherche de modèles de prédiction à l'aide du capteur Multiplex. *Actes du colloque Mondiaviti*, Bordeaux, décembre 2010.

Silva Ferreira, A.C., Barbe, J.C. & Alain, B. (2003). 3-Hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone : A key odorant of the typical aroma of oxidative aged port wine. *J Agric Food Chem ;* 51 : 4356-63.

Singleton, V.L., Trousdale, E., Zaya, J. (1979). Oxidation of wines I. Young white wines periodically exposed to air. *Am J Enol Vitic ;* 30 : 49-54.

25788_vins_blancs.indb 259 13-10-11 12:24 PM

Tanahashi, H., Nishino, H., Tohjo, K., Nakai, T. (1987). Nucleation and crystal growth of potassium bitartrate in model solutions, white wines and red wines, In : *Industrial crystallization*. 10th symposium. J. Nyvlt and S. Zacek, Editors. Elsevier Science Publishers, Amsterdam : Bechne.

Thibon, C., Shinkaruk, S., Jourdes, M., Bennetau, B., Dubourdieu, D., Tominaga, T. (2010). Aromatic potential of botrytized white wine grapes : Identification and quantification of new cysteine-S-conjugate flavor precursors. *Analytica Chimica Acta* ; 660(1-2) : 190.

Tominaga, T., Baltenweck-Guyot, R., Peyrot de Gachons, C., Dubourdieu, D. (2000). Contribution of volatile thiols to the aromas of white wines made from several *Vitis vinifera* grape varietie. *Am J Enol Vitic ;* 51 : 178-81.

Tominaga, T., Blanchard, L., *et al.* (2000). A Powerful Aromatic Volatile Thiol, 2-Furanmethanethiol, Exhibiting Roast Coffee Aroma in Wines Made from Several *Vitis vinifera* Grape Varieties. *J Agric Food Chem ;* 48 : 1799-802.

Trousseau, M., Chapron, P. (1991). L'application de la flotation au débourbage des moûts. *Rev Œnologues* ; 60 : 37-40.

Valade, M., Tribaut-Sohier, I., Bunner, D., Laurent, M., Moncomble, D., Tusseau, D. (2007). Les apports d'oxygène en vinification et leurs impacts sur les vins : le cas particulier du champagne (2e partie). *Rev Fr Œnol ;* 222 : 17-28.

Valero, E., Millan, M.C., Mauricio, J.C. And Ortegaj, M. (1998). Effect of grape skin maceration on sterol, phospholipid, and fatty acid contents of *Saccharomyces cerevisiae* during alcoholic fermentation. *Am J Enol Vitic ;* 49 : 119-124.

Vallée, D., Bagard, G., Salva, N., Raoultx-Pantalacci, L., Bourde, C., *et al.* (1995). Détermination de la température de sursaturation, du domaine de sursaturation et des « règles » de stabilité vis-à-vis du tartrate neutre de calcium dans les vins. *J Int Sci Vigne Vin ;* 29 : 143-58.

VarelaTorrea, D., Schmidt, S.A., Ancin-Azpilicueta, C., Henschke, P. (2012). Effect of oxygen and lipid supplementation on the volatile composition of chemically defined medium and Chardonnay wine fermented with *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Chem ;* 135 : 2863-71.

Vernhet, A., Moutounet, M., Escudier, J.-L. (1998). Microfiltration tangentielle des vins. *J Int Sci Vigne Vin ; Hors Série :* 45-52.

Vezhinet, F., Hallet, J.N., Valade, M., Poulard, A. (1992). Ecological survey of wine yeast strains by molecular methods of identification. *American. Journal of. Enology and Viticulture* ; 43 : 83-6.

Vidal, J.-C., Boulet, J.-C., Moutounet, M. (2004). Les apports d'oxygène au cours des traitements des vins. Bilan des observations sur site. 3e partie. *Rev Fr Œnol ;* 205 : 25-33.

Vidal, J.-C., Boulet, J.-C, Moutounet, M. (2003). Les apports d'oxygène au cours des traitements des vins. Bilan des observations sur site, 2e partie. *Rev Fr Œnol ;* 201 : 32-8.

Vidal, J.-C., Dufourcq, T., Boulet, J.-C, Moutounet, M. (2001). Les apports d'oxygène au cours des traitements des vins. Bilan des observations sur site, 1re partie. *Rev Fr Œnol ;* 190 : 24-31.

Vidal, J.-C., Moutounet, M. (2006). Monitoring of oxygen in the gas and liquid phases of bottles of wine at bottling and during storage. *J Int Sci Vigne Vin ;* 40 : 35-45.

Vincent, B. (2002). Connaissance des micro-organismes présents au cours de l'élaboration des vins rouges et blancs de Bourgogne. Compte-rendu annuel Contrat de plan État-Région, Région Bourgogne.

Vincent, B., Coarer, M., Pain, A. (2011). *Brettanomyces bruxellensis* : biodiversité et conséquences. VIIIe Congrès national de la Société française de microbiologie , Marseille.

Viriot, C. (1995). Polyphenols et polyosides du bois de chêne. Contribution au vieillissement des cognacs en fut. Thèse de doctorat, Université de Nancy.

25788_vins_blancs.indb 260 13-10-11 12:24 PM

Vuchot, P. (1998). Relargage des mannoprotéines pariétales de *Saccharomyces cerevisiae* en conditions œnologiques. Diplôme d'Études Approfondies, Université de Montpellier.

Wiessman, G., Kubel, H., *et al.* (1989). Untersuchungen zur Cancerogenität von Holzstzub, Die Extrakstoffe von Eichenhol (*Quercus robur* L.). *Holzfroschung* ; 43 : 75-82.

25788_vins_blancs.indb 261 13-10-11 12:24 PM

Liste des sigles

3MH	3-mercaptohexan-1-ol
3MHA	acetate de 3-mercaptohexyle
4MMP	4-mercapto-4-méthylpentan-2-one
ADN	acide désoxyribonuclélque
AIVB-LR	Association interprofessionnelle des vins biologiques du Languedoc-Roussillon, maintenant Sudvinbio
AOC	appellation d'origine contrôlée
AOP	appellation d'origine protégée
B	blanc
BA	bactérie acétique
BIB	*Bag-in-Box*
BL	bactérie lactique
CE	Communauté européenne
CEE	Communauté économique européenne
CFCE	Centre français du commerce extérieur
CIVC	Centre interprofessionnel du vin de Champagne
CMC	carboxyméthylcellulose
CVI	casier viticole informatisé
Cys3MH	conjugué à la cystéine du 3-mercaptohexanol
Cys4MMP	conjugué à la cystéine de la 4-mercapto-4-méthylpentan-2-one
DAP	phosphate diammonique
DGDDI	Direction générale des douanes et droits indirects
DGGE	*Denaturing Gradient Gel Electrophoresis*
DIT	degré d'instabilité tartrique
DLUO	date limite d'utilisation optimale
DMDC	dicarbonate de diméthyle
DMS	sulfure de diméthyle
DMSO	diméthylsulfoxyde
DO	*Denominación de Origen*
DOC	*Denominazione di Origine Controllata*
DT	régime d'augmentation de température
ECP	électrophorèse en champs pulsés
FA	fermentation alcoolique
FAM	FranceAgriMer
FML	fermentation malolactique
G3MH	conjugué au glutathion du 3-mercaptohexan-1-ol
G4MMP	conjugué au glutathion de la 4-mercapto-4-méthylpentan-2-one
GiESCO	*Group of International Experts of vitivinicultural Systems for coOperation*

25788_vins_blancs.indb 262 13-10-16 2:42 PM

GRP	*Grape Reaction Product*
ha	hectare
ICV	Institut coopératif du vin
IFV	Institut français de la vigne et du vin
IFV Sud-Ouest	Institut français de la vigne et du vin, Vinopole Sud-Ouest
IGP	indication géographique protégée
IHEV	Institut des hautes études de la vigne et du vin
INAO	Institut national des appellations d'origine
INRA	Institut national de la recherche agronomique
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
INV	Institut national de la viti-viniculture
ITS	*Internal Transcribed Spacer*
IVCC	Institut des vins de consommation courante
kDa	kilodalton
LGBT	lesbiennes, gays, bisexuels et transsexuels
LSA	levure sèche active
MCR	moût concentré rectifié
mha	millier d'hectares
mhL	millier d'hectolitres
MPA	membrane perméable aux anions
MPC	membrane perméable aux cations
NAD	nicotinamide adénosine dinucléotide
NADH	nicotinamide adénosine dinucléotide protoné
NDVI	*Normalized Difference Vegetation Index*
NEP	nettoyage en place
NTU	*Nephelemotric Turbidity Unit*
OFAG	Office fédéral de l'agriculture (Suisse)
OGM	organisme génétiquement modifié
OIV	Organisation internationale de la vigne et du vin
OTR	*Oxygen Transmission Rate*
PC	produit de concentration
PCR	*Polymerase Chain Reaction*
PG	polygalacturonase
PIR	proche infrarouge
PL	pectine lyase
PME	pectine méthyl-estérase
PPO	polyphénoloxydase
PR	poids de raisin
PS	produit de solubilité
PTM	pression transmembranaire
PVI/PVP	copolymère de polyvinyl imidazole/polyvinyl pyrolidone
PVPP	polyvinylpolypyrrolidone
QTT	quercotriterpénoside

25788_vins_blancs.indb 263 13-10-16 2:42 PM

RGA	recensement général agricole
Rs	rosé
SCEES	Service central des enquêtes et études statistiques
SECV	surface externe du couvert végétal
SMM	S-méthylméthionine
TCa	tartrate neutre de calcium
TDN	1,1,6-triméthyl-1,2-dihydronaphtalène
THK	hydrogénotartrate de potassium
TMSH	taux de matières en suspension humide
TPB	(E)-1-(2,3,6-triméthylphényl) buta-1,3-diène
TTGE	*Temporal Temperature Gel Electrophoresis*
UFC	unité formant colonie
UTA	*Untypische Alterung Note*
UV	ultraviolet
VDN	vin doux naturel

25788_vins_blancs.indb 264 13-10-16 2:42 PM

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Évolution de la part des cépages blancs dans le vignoble français depuis 1958 (d'après des données Eurostat, OIV et FranceAgriMer) 4
Tableau 2.1 Mycotoxines produites par des moisissures de la baie de raisin 47
Tableau 3.1 Principaux cépages blancs 55
Tableau 3.2 Aligoté B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 56
Tableau 3.3 Chardonnay B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 57
Tableau 3.4 Chenin B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 59
Tableau 3.5 Clairette B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 61
Tableau 3.6 Colombard B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 62
Tableau 3.7 Gewürztraminer Rs : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 63
Tableau 3.8 Grenache blanc B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 65
Tableau 3.9 Gros Manseng B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 67
Tableau 3.10 Macabeu B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 69
Tableau 3.11 Marsanne B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 71
Tableau 3.12 Mauzac B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 73
Tableau 3.13 Melon B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 75
Tableau 3.14 Muscat à petits grains blancs B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 76
Tableau 3.15 Muscat d'Alexandrie B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 78
Tableau 3.16 Petit Manseng B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 80
Tableau 3.17 Pinot blanc B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 81
Tableau 3.18 Pinot gris G : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 82
Tableau 3.19 Piquepoul blanc B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 84
Tableau 3.20 Riesling B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 85
Tableau 3.21 Roussanne B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 87
Tableau 3.22 Sauvignon B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 88
Tableau 3.23 Sémillon B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 90
Tableau 3.24 Ugni blanc B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 92
Tableau 3.25 Vermentino B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 94
Tableau 3.26 Viognier B : évolution des surfaces cultivées en France (ha) 96
Tableau 3.27 Indice SECV/PR estimé dans les principaux vignobles blancs français 104
Tableau 3.28 Influence d'un effeuillage préfloraison sur le taux de nouaison, la composition de la récolte, la composition du moût ; cépage Trebbiano (Ugni blanc) (d'après Poni *et al.*, 2006) 108
Tableau 3.29 Évolution des poids de la grappe, de la baie, de la concentration en sucres en fonction du volume d'irrigation et de la période d'apport ; $\delta^{13}C$ sur moûts à la récolte ; cépage Colombard, millésime 2012 112
Tableau 4.1 Vins blancs doux ambrés 131

25788_vins_blancs.indb 265 13-10-11 12:24 PM

Tableau 4.2 Nouvelles limitations du SO_2 en fonction des catégories de vin par rapport aux limites actuelles en vin conventionnel 137
Tableau 4.3 Rapport S/A à atteindre selon la destination de la vendange (cas du Muscat à petit grain) (d'après Carbonneau, 1998) 139
Tableau 4.4 Synthèse des capteurs et de leur potentiel 144
Tableau 4.5 Répartition des précurseurs de thiols du 3MH dans la baie de raisin 150
Tableau 4.6 Comparaison des différentes méthodes de débourbage (J. Blouin et E. Peynaud, 2001) 155
Tableau 4.7 Mesure comparative du taux d'humidité du marc sur deux lots de vendange homogènes de Sauvignon (2011) 160
Tableau 4.8 Caractérisation des moûts en sortie des outils d'extraction sur deux lots de vendange homogènes de Sauvignon (2011) 161
Tableau 4.9 Caractérisation des moûts après débourbage sur deux lots de vendange homogènes de Sauvignon (2011) 161
Tableau 4.10 Caractérisation des moûts après extraction par la mesure du potassium sur deux lots de vendange homogènes de Sauvignon (2011) 162
Tableau 4.11 Caractérisation de l'oxydation des moûts obtenus dans différentes conditions d'extraction sur des lots de vendanges homogènes de Grenache blanc (2011) 163
Tableau 4.12 Proportion des différentes espèces non fermentaires durant la fermentation 167
Tableau 4.13 Production d'éthanol par les différentes espèces de levures 171
Tableau 4.14 Évolution de la diversité levurienne au cours de la fermentation 172
Tableau 4.15 Exemple de production d'acidité volatile par des levures fermentaires et non fermentaires 175
Tableau 4.16 Effet combiné de la concentration en azote assimilable et de la turbidité sur la quantité d'azote assimilé et sur la cinétique fermentaire (Casalta *et al.*, 2012) 179
Tableau 4.17 Effet du régime de température sur la durée de fermentation (Df), la vitesse maximale de fermentation (Vmax), la puissance frigorifique maximale (Pmax) et la dépense totale en énergie (Étot) 181
Tableau 4.18 Teneurs maximales en SO_2 total selon le type de vin blanc 217
Tableau 4.19 Récapitulatif bibliographique des apports en oxygène par opération 220
Tableau 4.20 Conseils pratiques pour réduire la teneur en oxygène en bouteille 222
Tableau 4.21 Seuils de perception et descripteurs olfactifs des énantiomères du sotolon 228
Tableau 4.22 Teneurs en 4MMP, 3MH, glutathion et sotolon d'un vin de Sauvignon élevé en fût selon différentes modalités, en fin de l'élevage 230
Tableau 4.23 Consommation de l'oxygène (µg/L/h) d'un vin blanc élevé 6 mois sur lies (d'après Salmon *et al.*, 1999) 231
Tableau 4.24 Mesure de la teinte jaune des vins ; dosage du 3-mercapto-hexanol et du sotolon après trois ans de bouteille 232

25788_vins_blancs.indb 266 13-10-11 12:24 PM

Liste des figures

Figure 1.1 Part des cépages « blancs » dans le vignoble de cuve (d'après des données Eurostat, OIV et FranceAgriMer) 2

Figure 1.2 Surfaces cépages blancs de cuve 2009, principaux pays (en ha, d'après des données Eurostat, OIV et FranceAgriMer) 3

Figure 1.3 Évolution de la part des cépages blancs dans le vignoble entre 1999 et 2009 (d'après des données Eurostat, OIV et FranceAgriMer) 4

Figure 1.4 Les principaux cépages blancs dans le monde (d'après J.-M. Boursiquot, communication personnelle) 5

Figure 1.5 Évolution de l'encépagement français en blanc de 1958 à 2009 (d'après J.-M. Boursiquot, communication personnelle) 6

Figure 1.6 Évolution de la répartition régionale du Chardonnay en France 6

Figure 1.7 Répartition mondiale du Sauvignon (2010) 7

Figure 1.8 Évolution de la répartition régionale du Sauvignon en France (1968-2011) (sources recensements de l'agriculture 1968, 1979, 1988 et 2000 et DGDDI 2011) 8

Figure 1.9 Répartition mondiale du Rkatsiteli environ 60 000 ha en 2011 (d'après données de J.-M. Boursiquot, communication personnelle) 8

Figure 1.10 Répartition de la production mondiale de vins blancs (estimation moyenne 2005-2009) 9

Figure 1.11 Production mondiale de vins effervescents 11

Figure 1.12 Part des vins blancs dans la consommation de vin tranquille 12

Figure 2.1 Structure chimique des principaux précurseurs d'arômes présents dans les raisins et les moûts 23

Figure 2.2 Structure chimique de quelques composés d'arômes des raisins et des vins 24

Figure 2.3 Les voies de biogenèse des thiols variétaux dans les vins 29

Figure 2.4 Structure des principaux composés phénoliques 37

Figure 2.5 Réaction d'oxydation enzymatique dans les moûts 40

Figure 2.6 Réaction d'oxydation des composés phénoliques 42

Figure 3.1 Polymorphisme moléculaire 100

Figure 3.2 Calcul de la surface externe du couvert végétal (SECV) 103

Figure 3.3 Évolution de la concentration en sucres des raisins au moment de la récolte sur une parcelle de Colombard en fonction de l'indice SECV/PR au cours de 5 millésimes (1999-2004) 104

Figure 3.4 Influence de l'effeuillage sur la composition des raisins en précurseurs glycosidiques à la récolte : % gain en norisoprénoïdes et terpènes conjugués par rapport à un témoin non effeuillé – Moyenne des millésimes 2003 à 2006, cépage Melon B 107

Figure 3.5 Influence de l'effeuillage sur la composition des vins en thiols : 3-mercaptohexanol (3MH) et en 3-mercaptohexyl acétate (A3MH) – Moyenne des millésimes 2003 à 2005, cépage Colombard 108

25788_vins_blancs.indb 267 13-10-11 12:24 PM

Figure 3.6 Gain en azote assimilable des moûts après pulvérisation d'azote foliaire à véraison. Synthèse de résultat pour 101 échantillons. Barres d'erreur = intervalle de confiance à 95 % 110
Figure 3.7 Gain en thiols variétaux (3MH + Ac3MH) dans les vins par rapport à un témoin après pulvérisation foliaire d'azote-soufre sur vigne. Synthèse de résultats : parcelles issues de 5 cépages au cours de 5 millésimes. Barres d'erreur = intervalle de confiance à 95 % 111
Figure 3.8 Concentrations en cuivre dosées dans 180 échantillons de raisins de Colombard en relation avec la concentration en thiols variétaux (3MH + A3MH) dans les vins 113
Figure 4.1 Vinification en cuve. 119
Figure 4.2 Vinification en fût 123
Figure 4.3 Vinification en vin effervescent (méthode traditionnelle) (extrait de *Le Champagne, de la tradition à la science*, B. Duteurtre. Paris, Lavoisier, 2010) ... 125
Figure 4.4 Itinéraires de vinification des Muscats 130
Figure 4.5 Formation de G3MH lors de l'oxydation d'un moût de Melon B 150
Figure 4.6 Concentration de G3MH issu de raisins ou de moûts de Sauvignon blanc et de Melon B 151
Figure 4.7 Influence du type de pressurage sur les teneurs en précurseurs de thiols (cas du Melon B) 152
Figure 4.8 Cuve de débourbage 155
Figure 4.9 Système de flottation 157
Figure 4.10 Coupe transversale d'un décanteur centrifuge (source : Groupe Alfa Laval) 159
Figure 4.11 Évolution des espèces fermentaires et non fermentaires sur baies en fonction du temps 168
Figure 4.12 Différence entre populations présentes à la parcelle et dans le matériel vinaire en Alsace. 169
Figure 4.13 Augmentation de la proportion de levures fermentaires dans les chais au moment de la récolte 169
Figure 4.14 Répartition des différentes espèces de levures en fonction du support 170
Figure 4.15 Réduction de la diversité microbienne au cours de l'élaboration des vins 170
Figure 4.16 Évolution des proportions respectives des espèces non fermentaires et fermentaires durant la fermentation. 172
Figure 4.17 Proportion de non-*Saccharomyces* à différents stades de la fermentation 173
Figure 4.18 Résistance à l'éthanol et au SO_2 de différentes espèces de levures 173
Figure 4.19 Évolution de la proportion de la souche dominante au cours de la fermentation alcoolique. 174
Figure 4.20 Évolution des différents génotypes de *Brettanomyces* durant l'élevage 176
Figure 4.21 Relation entre la concentration en azote assimilable des moûts et leur vitesse maximale de fermentation (exprimée en gCO_2/L. h, à 24 °C) (Malherbe, 2003) 177
Figure 4.22 Effet de l'élevage sur lies sur les teneurs en thiols variétaux (3-mercaptohexanol) dans des vins de Melon B (Schneider, 1998) 194
Figure 4.23 Effet de la température de conservation sur les teneurs en thiols variétaux (exprimées en nombre d'unités d'odeur) de vins de Colombard (Davaux *et al.*, 1996) 194

25788_vins_blancs.indb 268 13-10-11 12:24 PM

Figure 4.24 Effet de la température de conservation sur les teneurs en acétates d'alcools supérieurs (acétate d'isoamyle, acétate d'hexyle et acétate de phényléthyle) et esters éthyliques d'acides gras (hexanoate d'éthyle, octanoate d'éthyle, décanoate d'éthyle et dodécanoate d'éthyle) de vins d'Ugni blanc (Davaux *et al.*, 1996) 195

Figure 4.25 a) Relation entre la teneur en acide tartrique et en potassium d'un vin, la température et la solubilité du bitartrate de potassium 210

b) Impact de la composition des vins en colloïdes (polysaccharides, composés phénoliques polymérisés) sur la morphologie des cristaux d'hydrogénotartrate de potassium 210

Figure 4.26 Principe de fonctionnement de l'électrodialyse à deux cellules (concentration et dilution) pour la stabilisation tartrique des vins 212

Figure 4.27 Électrodialyse pour la stabilisation tartrique des vins : fonctionnement en batch alimenté 213

Figure 4.28 Évolution de l'oxygène total et du SO_2 libre sur un Sauvignon en bouteille. 222

Figure 4.29 3-hydroxy-2(5H)-furanone (sotolon). 227

Figure 4.30 Formes énantiomères du sotolon 228

Figure 4.31 Voie de formation du sotolon dans les vins blancs secs (Pons *et al.*, 2010) 228

Figure 4.32 Formule semi-développée du glutathion (Glu-Cys-Gly) 229

Figure 4.33 Évolution de la teneur en glutathion des moûts au cours de la fermentation . . . 229

Figure 4.34 Caractère aléatoire du vieillissement défectueux de l'arôme des vins en bouteille. 231

Figure 4.35 Relation entre les teneurs du vin en sotolon et en oxygène dissous 232

25788_vins_blancs.indb 269 13-10-11 12:24 PM

Liste des photos

Photo 1.1 Campagne Alsace fleurs pure expression de la nature. 16
Photo 1.2 Moscato blanc Barefoot 18
Photo 1.3 Pink Moscato Barefoot 18
Photo 2.1 Penicillium sur grappe 46
Photo 2.2 Présence de moisissures dans les baies de raisin sous forme de différentes pourritures 46
Photo 2.3 Différents stades de l'établissement de la pourriture noble 48
Photo 3.1 Aligoté B : feuille 56
Photo 3.2 Aligoté B : grappe. 56
Photo 3.3 Chardonnay B : feuille 57
Photo 3.4 Chardonnay B : grappe. 57
Photo 3.5 Chenin B : feuille 59
Photo 3.6 Chenin B : grappe. 59
Photo 3.7 Clairette B : feuille 61
Photo 3.8 Clairette B : grappe. 61
Photo 3.9 Colombard B : feuille 62
Photo 3.10 Colombard B : grappe 62
Photo 3.11 Gewürztraminer Rs : feuille 63
Photo 3.12 Gewürztraminer Rs : grappe 63
Photo 3.13 Grenache blanc B : feuille. 65
Photo 3.14 Grenache blanc B : grappe. 65
Photo 3.15 Gros Manseng B : feuille. 67
Photo 3.16 Gros Manseng B : grappe. 67
Photo 3.17 Macabeu B : feuille. 69
Photo 3.18 Macabeu B : grappe 69
Photo 3.19 Marsanne B : feuille 71
Photo 3.20 Marsanne B : grappe 71
Photo 3.21 Mauzac B : feuille 73
Photo 3.22 Mauzac B : grappe 73
Photo 3.23 Melon B : feuille. 75
Photo 3.24 Melon B : grappe 75
Photo 3.25 Muscat à petits grains blancs B : feuille. 76
Photo 3.26 Muscat à petits grains blancs B : grappe. 76
Photo 3.27 Muscat d'Alexandrie B : feuille 78
Photo 3.28 Muscat d'Alexandrie B : grappe. 78
Photo 3.29 Petit Manseng B : feuille 80
Photo 3.30 Petit Manseng B : grappe. 80
Photo 3.31 Pinot blanc B : feuille. 81

25788_vins_blancs.indb 270 13-10-11 12:24 PM

Photo 3.32 Pinot blanc B : grappe 81
Photo 3.33 Pinot gris G : feuille 82
Photo 3.34 Pinot gris G : grappe 82
Photo 3.35 Piquepoul blanc B : feuille 84
Photo 3.36 Piquepoul blanc B : grappe 84
Photo 3.37 Riesling B : feuille 85
Photo 3.38 Riesling B : grappe 85
Photo 3.39 Roussanne B : feuille 87
Photo 3.40 Roussanne B : grappe 87
Photo 3.41 Sauvignon B : feuille 88
Photo 3.42 Sauvignon B : grappe 88
Photo 3.43 Sémillon B : feuille 90
Photo 3.44 Sémillon B : grappe 90
Photo 3.45 Ugni blanc B : feuille 92
Photo 3.46 Ugni blanc B : grappe 92
Photo 3.47 Vermentino B : feuille 94
Photo 3.48 Vermentino B : grappe 94
Photo 3.49 Viognier B : feuille 96
Photo 3.50 Viognier B : grappe 96
Photo 3.51 Fécondation artificielle 99
Photo 3.52 Effeuillage sur une face côté soleil levant sur vigne de Colombard 106
Photo 4.1 Observation des différentes bourbes 153
Photo 4.2 Exemple de culture solide de levure 165
Photo 4.3 Identification spécifique par PCR ITS 166

25788_vins_blancs.indb 271 13-10-11 12:24 PM

Index

2-aminoacétophénone 109

A

acariens 73
acétates d'alcools supérieurs 33, 34, 133, 150, 187, 193, 197
acide ascorbique 39, 40, 42, 43, 44, 48, 162, 163, 209, 217, 218, 228
acide caftarique 37, 39, 40, 44, 150, 162, 163
acides aminés 30, 32, 34, 186, 202
acides hydroxycinnamiques 36, 38, 39, 41, 44, 146, 149, 209
acidité volatile 122, 126, 127, 167, 174, 175, 180, 200, 212
alimentation azotée 106, 111, 233
Alvarinho 25
amertume 36, 44, 61, 74, 97, 124, 134, 156, 187, 198, 226, 240
astringence 36, 44, 49, 124, 156
autolyse 128, 189, 193, 196, 201, 202, 203, 204, 205
azote 22, 25, 30, 33, 34, 109, 110, 111, 118, 119, 126, 127, 139, 141, 143, 144, 145, 147, 148, 153, 157, 171, 177, 178, 179, 180, 182, 196, 223, 229, 233

B

bactéries 24, 27, 31, 45, 47, 49, 50, 51, 122, 133, 152, 154, 166, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 201, 205, 214, 215, 216, 218
barrique 27, 58, 131, 133, 134, 200, 202, 204, 205, 206, 220, 230, 241
bâtonnage 120, 121, 123, 172, 200, 204, 206, 238
Botrytis X, 30, 39, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 105, 126, 127, 128, 137, 140, 143, 153, 156, 227, 239, 240
Brettanomyces 27, 49, 165, 166, 167, 168, 171, 175, 176, 192, 218
brunissement 31, 36, 39, 41, 43, 44, 149, 157, 207, 209, 218

C

C13-norisoprénoïdes 23, 199
caftarique 36
casse protéique 128, 193, 207
champignons 27, 45, 47, 51, 167
Chardonnay 4, 5, 6, 7, 10, 14, 18, 55, 57, 58, 104, 124, 176, 188, 196, 224, 238, 239, 240, 241
Colombard 18, 28, 55, 62, 103, 104, 107, 108, 112, 113, 140, 151, 194
composés phénoliques 31, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 44, 47, 106, 129, 146, 197, 204, 207, 209, 210, 217, 229, 233
contrainte hydrique 112
cultures mixtes 184

D

diméthylsulfure DMS 31, 32, 34, 139, 147, 224

E

effervescents 7, 10, 11, 13, 15, 56, 58, 60, 61, 70, 72, 74, 77, 79, 81, 97, 122, 124, 125, 139, 201, 220, 227
électrodialyse 137, 193, 211, 212, 213, 220
enzymes pectolytiques 146, 149, 156, 161
esters 26, 32, 33, 34, 36, 41, 44, 110, 129, 152, 180, 182, 183, 187, 195, 203
  éthyliques 33, 34, 44, 110, 180, 195, 203
  hydroxycinnamiques 41
état hydrique 112

F

fermentation spontanée 121, 137, 174, 175
fertilisation azotée 30, 109
filtration tangentielle 214, 216, 220
flavanols 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 209
fluorimétrie 141, 144
fût 24, 35, 36, 38, 98, 120, 121, 122, 123, 127, 128, 134, 170, 188, 192, 195, 196, 230

G

Gewürztraminer 25, 28, 48, 55, 63, 64, 238
glutathion VIII, 22, 29, 30, 31, 34, 35, 39, 43, 44, 122, 149, 193, 202, 206, 229, 230, 231, 232, 233
glycoconjugué 22, 26, 27, 28
glycosides 27, 38
Gros Manseng 28, 55, 67, 68
GRP 39, 40, 41, 150

H

hydroxycinnamiques 36, 38, 39, 41, 44, 146, 149, 209

25788_15_Index.indd 272 13-10-17 8:55 AM

L
lies 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 128, 129, 130, 158, 163, 186, 188, 189, 192, 193, 194, 195, 196, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 208, 230, 231, 233, 238, 239, 240, 242
lysozyme 190

M
Melon 6, 28, 30, 55, 75, 104, 107, 149, 150, 151, 152, 194, 238
methoxypyrazine 22, 25, 26, 107
microfiltration tangentielle 214, 215
moisissures 45, 46, 47, 166, 167, 225
monoterpénols 22, 23, 25, 26, 28
Muscat 28, 55, 77, 78, 128, 129, 130, 156

N
norisoprénoïdes 23, 28, 106, 107, 147, 187, 199

O
ochratoxine 47
OTR 31, 35, 221, 223, 224
oxydation 25, 30, 31, 32, 34, 35, 39, 40, 41, 42, 43, 47, 74, 106, 114, 118, 126, 127, 129, 131, 132, 133, 135, 138, 140, 146, 148, 149, 150, 151, 153, 159, 160, 162, 163, 188, 190, 192, 193, 194, 200, 201, 203, 204, 205, 206, 209, 216, 217, 218, 219, 221, 223, 224, 225, 226, 228, 230, 232, 233

P
Petit Manseng 28, 55, 80
pinking 204, 207, 209
PIR 144, 145
polyphénolique 106, 141, 143, 145
polyphénoloxydase 39, 202
polyphénols 20, 30, 35, 36, 112, 113, 139, 140, 145, 148, 153, 157, 162, 187, 204, 219, 229
  oxydases 153, 162
pourriture 45, 46, 47, 48, 49, 50, 56, 57, 61, 95, 126, 128, 239
  grise 41, 45, 46, 47, 56, 57, 59, 61, 62, 63, 65, 67, 69, 71, 73, 75, 76, 79, 80, 83, 84, 85, 87, 88, 90, 92, 95, 97, 105
  noble X, XI, 41, 46, 48, 86, 89, 126, 128, 133, 239, 240
précurseurs
  cystéinylés 29, 30, 107, 149
  glutathionylés 29, 149
  glycosidiques 27, 106, 107
  glycosylés 25, 34, 41, 147, 187, 198
proche infrarouge 142, 145
pulvérisation foliaire 109, 110, 111, 144

R
Riesling 5, 8, 14, 17, 18, 28, 48, 55, 85, 86, 104, 238, 240, 242

S
Sauvignon blanc 4, 5, 6, 7, 8, 14, 15, 18, 22, 25, 28, 29, 48, 55, 88, 89, 98, 104, 107, 113, 149, 150, 151, 160, 161, 162, 178, 195, 196, 202, 221, 222, 225, 230, 232, 238, 239, 242
Sémillon 6, 28, 48, 55, 90, 91, 104, 238
S-méthylméthionine 22, 31, 34
sotolon 35, 131, 133, 227, 228, 230, 231, 232, 233
spectroscopie proche infrarouge 141
stabilisation tartrique 119, 124, 137, 207, 211, 212, 213, 219
sulfite 34, 38, 39, 40, 43, 44, 136, 137, 149, 159, 162, 192, 193, 216, 217
sulfure de diméthyle 21, 31

T
terpènes 21, 25, 106, 107, 187, 198, 240
terpénols 129, 147
thiol 21, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 55, 62, 89, 106, 107, 108, 110, 111, 113, 114, 129, 139, 140, 143, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 154, 180, 182, 183, 193, 194, 202, 203, 205, 224, 230, 232, 238
  variétaux 30, 147, 149

V
vins effervescents 10, 11, 13, 58, 61, 77, 122, 124, 220

W
whisky lactone 198

25788_15_Index.indd 273 13-10-17 8:55 AM

Achevé d'imprimer en novembre 2013 par DZS en Slovénie
Dépôt légal : novembre 2013

25788_vins_blancs.indb 274 13-10-11 12:24 PM