

G R A N D P R I X 1 9 9 9

Isabelle CUTZACH-BILLARD

ETUDE

sur l'arôme des vins
doux naturels non
muscatés au cours
de leur élevage et
de leur vieillissement,
son origine,
sa formation

ACADEMIE MORIM



PRÉFACE

Le Groupe Amorim, né du liège en 1870 au Portugal, a fondé les bases de son développement sur cette extraordinaire matière première, à travers la production de cet humble mais inséparable compagnon du Vin : le bouchon de liège.

Notre volonté de servir la cause du vin s'est toujours exprimée dans la recherche technologique sur la filière liège, base de notre activité. En 1992, nous avons souhaité aller plus loin et nous engager davantage aux côtés des chercheurs en œnologie en créant l'Académie Amorim, un lieu de rencontre et d'échange entre œnologues, ingénieurs, professeurs, sommeliers, auteurs, artistes... tous animés d'une même passion du Vin. Chaque année, notre Académie encourage et soutient la recherche en œnologie par la remise d'un Prix à un chercheur ou à une équipe de chercheurs ayant fait paraître des travaux significatifs qui concourent à la défense et à la promotion de la qualité du Vin. Que soient ici saluées les personnalités, membres de cette Académie, qui contribuent si généreusement à cette mission. Je formule le vœux que cette collection, dédiée aux Lauréats du Grand Prix de l'Académie, devienne, au fil des ans, une référence et la mémoire vivante des efforts et des travaux engagés dans le monde entier pour servir la noble cause du Vin.

Americo Ferreira de AMORIM

Président du Groupe Amorim

LAURÉATS DE L'ACADÉMIE AMORIM

Grand Prix 1999 - Isabelle CUTZACH-BILLARD

"Etude sur l'arôme des vins doux naturels non muscatés au cours de leur élevage et de leur vieillissement. Son origine. Sa formation."

Prix Chêne-Liège 1999 - Noël HEYES

"La Perméabilité à l'oxygène de la cire de paraffine macrocristalline et sa conséquence sur les traitements de surface des bouchons en liège naturel destinés aux vins tranquilles."

Coup de Cœur 1999 - Julien PILLOT & Jean-Christian LAMBORELLE

"Le décret du 1^{er} décembre 1936 dit "code du vin" : étude critique."



Grand Prix 1998 - Virginie MOINE-LEDOUX

Faculté d'Oenologie Université Victor SEGALEN de Bordeaux 2

"Recherches sur le rôle des Mannoprotéines de levure vis à vis de la stabilité protéique et tartrique des vins."

Coup de Cœur 1998 - Marie-Laure CHAMUSSY-BOUTEILLE

Institut de la Vigne et du Vin Jules GUYOT, Université de Bourgogne

"Colette : un vin d'écrivain."



Grand Prix 1997 - Valérie LAVIGNE-CRUEGE

Faculté d'Oenologie Université Victor SEGALEN de Bordeaux 2

"Recherche sur les composés soufrés formés par la levure au cours de la vinification et l'élevage des vins blancs secs."



Grand Prix 1996 - Sylvie BIAU

Faculté d'Oenologie Université Victor SEGALEN de Bordeaux 2

"Etude de la matière colorante des vins blancs de Bordeaux."

Prix Chêne-Liège 1996 - Guillem ROIG I JOSA - Héctor RIU SAVALL Josep SANCHO I VALLS

Département d'Industries Agro-Alimentaires

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya

"Traitement des résidus de l'industrie du liège par la culture des champignons".



Mention d'Honneur du Jury 1995 - P.L. TEISSEBRE - A.L. WATERHOUSE R.L. WALZEM - J.-B. GERMAN - E.N. FRANKEL - A.J. CLIFFORD

Université de Californie, Davis

"Composés phénoliques du raisin et du vin et santé."

Grand Prix 1995 - Samuel LUBBERS

Institut de la Vigne et du Vin Jules GUYOT, Université de Bourgogne

"Etude des interactions entre les macromolécules d'origine levurienne du vin et les composés d'arôme."



Grand Prix 1994 - Ziya GÜNATA

INRA Institut des Produits de la Vigne de Montpellier

"Etude et exploitation par voie enzymatique des précurseurs d'arôme du raisin, de nature glycosidique."



Grand Prix 1993 - Pierre-Louis TEISSEBRE

Centre de Formation et de Recherche en Œnologie de Montpellier.

"Le plomb, du raisin au vin."



Grand Prix 1992 - Pascal CHATONNET

Institut d'Œnologie de Bordeaux

"Incidences du bois de chêne sur la composition chimique et les qualités organoleptiques des vins, applications technologiques."

Pour la septième édition de son concours,
et la dernière de ce siècle, l'Académie Amorim a souhaité
récompenser trois ouvrages qui, tous,
concourent à une meilleure connaissance du vin
et des pratiques oenologiques.

Le Grand Prix est ainsi attribué à
Isabelle CUTZACH-BILLARD
pour ses travaux de thèse de Doctorat
portant sur un thème qui peut sembler restrictif
puisqu'il ne concerne, au départ, qu'une catégorie de vins
doux naturels non muscatés (Banyuls, Moury, Rivesaltes)
au volume limité.

Mais il prend une dimension plus large
dès qu'il aborde l'étude de
l'oxydation des vins et du vieillissement.

Le rôle essentiel du sotolon, pourtant découvert en 1976
dans les vins jeunes, est mis en évidence pour la 1ère fois
tout comme sont mises en évidence les différences
dans le vieillissement des vins rouges et blancs.

Sortant du cadre strict de l'étude,
les résultats présentés pourront, sans doute, être mis à profit
pour mieux contrôler et maîtriser l'élaboration des vins doux
naturels y compris les Portos.

Comme chaque année, la qualité des travaux présentés aux
membres du jury de l'Académie Amorim était au rendez-vous.

Le verdict final n'en est que plus méritoire !

Robert TINLOT
Président de l'Académie Amorim

Introduction

Les vins doux naturels (VDN) Français sont issus d'une très ancienne tradition régionale. On les rencontre au sud de la France dans la région Languedoc Roussillon. Au cœur du Roussillon, les VDN tiennent une place singulière. Leur origine remonte au XII^{ème} siècle lorsque ARNAUD de VILLANOVA, médecin et régent de l'université de Montpellier, découvrit le "mutage". Celui-ci consistait à l'ajout d'eau de vie au jus de raisin ayant subi un début de fermentation alcoolique. Le principe se répandit rapidement et l'eau de vie remplacée par un alcool vinique titrant 96°C dit "extra neutre". Sur plus de 449000 HL de VDN produit en France en 1998, les Banyuls, les Maury, les Rivesaltes et les Muscat de Rivesaltes, les quatre appellations du Roussillon constituent la majeure partie de la production. Les quatre appellations de l'Hérault, Muscat de ST Jean de Minervois, Muscat de Mireval, Muscat de Frontignan, Muscat de Lunel et les deux appellations du Vaucluse, Rasteau et Muscat de Beaumes de Venise, ne représentent que 14 % de la production totale de VDN à AOC.

Les VDN non muscatés sont exclusivement rencontrés dans les appellations, Banyuls, Maury, et Rivesaltes. Les Banyuls et les Maury sont élaborés à partir de 90 % de grenache noir. Les Rivesaltes ambrés sont élaborés à partir de grenache blanc, gris, macabeu et tourbat. Enfin les Rivesaltes tuilés sont élaborés à partir d'au moins 50 % de grenache noir. Les VDN non muscatés ont un élevage et un vieillissement qui font leur particularité.

A l'exception des vintages mis en bouteilles dès le printemps qui suit leur vinification, les VDN non muscatés sont élevés pendant plusieurs années en milieu oxydant. Les récipients souvent en vidanges peuvent être des bonbonnes en verre, des cuves ciments

mais également des contenants en bois de chêne relativement âgés. Les demi-muids, les foudres et les barriques usagés, de volumes variés sont utilisés pour faciliter la pénétration de l'oxygène (225, 660, 1500 à 5000 HL). L'exposition au soleil des demi-muids est une particularité des VDN. Les vins subissent les aléas climatiques. Ils acquièrent très vite les qualités organoleptiques typiques de l'arôme de rancio des VDN et perdent simultanément beaucoup de leur couleur. Au cours de leur exposition au soleil, la température, atteint 30°C au centre de la barrique et 60°C en surface.

Après cette phase oxydative indispensable aux Banyuls, aux Maury et aux Rivesaltes, les vins évoluent ensuite en milieu réducteur (en bouteilles). Ces différents types d'élevages conduisent chacun à des types de VDN bien définis. Leurs arômes peuvent être décrits à l'aide d'une série de descripteurs consensuels unanimement reconnus par la profession (TORRES et al., 1991). Les vintages sont caractérisés par des arômes de "pruneau" et de "fruits rouges".

En revanche, les VDN conservés en milieu oxydatif ont des arômes de "fruits cuits", de "caramel", de "fruits secs" et de "noix". De plus selon l'âge, la couleur et la méthode d'élevage, les VDN présentent des différences organoleptiques.

En 1956, CORDONNIER, découvrait l'existence des terpènes et leur rôle dans l'arôme variétal du cépage Muscat. Il existe depuis un grand nombre de travaux sur l'arôme des Muscats (RIBEREAU-GAYON et al., 1975 ; BOIDRON et TORRES., 1982 ; BAYONOVE et al., 1982 ; BAYONOVE et al., 1984 ; GUNATA et al., 1985 ; SALLES, 1989 ; BAUMES et al., 1989 ; PARK et al., 1991). En revanche, les études concernant l'arôme particulier

des vins doux naturels de Rivesaltes, Maury et Banyuls étaient quasi inexistantes. DEIBNER et BENARD (1956, 1957) ont réalisé les premières recherches sur le vieillissement des vins doux naturels non muscatés, sans pouvoir caractériser la structure moléculaire des arômes caractéristiques de ces vins.

Les profils aromatiques des Rivesaltes, Banyuls et Maury ont été caractérisés

grâce à de nombreuses dégustations (TORRES et al. 1997 et 1991). Cependant, les composés volatils odorants responsables de l'arôme des Rivesaltes, Banyuls et Maury au cours de leur vieillissement restaient inconnus.

Ce travail se propose d'étudier l'arôme des vins doux naturels et leur évolution au cours du processus de maturation et de vieillissement.

I - Identification et dosages de composés volatils et odorants

1-1- LA DÉGUSTATION DES VDN

L'analyse sensorielle a été réalisée sur 13 VDN par un jury de 13 professionnels exercés à la dégustation des VDN et à la description de leur typicité aromatique. Les descripteurs sensoriels sont ceux décrit par TORRES *et al* en 1991. On demande à chaque dégustateur de noter pour chaque vin les différents descripteurs caractéristiques de l'arôme. L'analyse statistique des données de la dégustation permet de différencier de façon significative les vins étudiés et d'analyser la manière dont

leurs arômes sont décrits lors de la dégustation. Nous avons utilisé la méthode d'analyse factorielle des correspondances pour laquelle les vins et les descripteurs consensuels sont considérés comme des variables aléatoires. Pour chaque vin étudié, nous avons noté la fréquence de citation des différents descripteurs. Les données de l'analyse sont projetées sur un plan muni d'un repère dont ici les axes 1 et 2 sont les lignes principales d'interprétations : l'axe 1 représente le paramètre âge et l'axe 2 représente le paramètre couleur (figure 1).

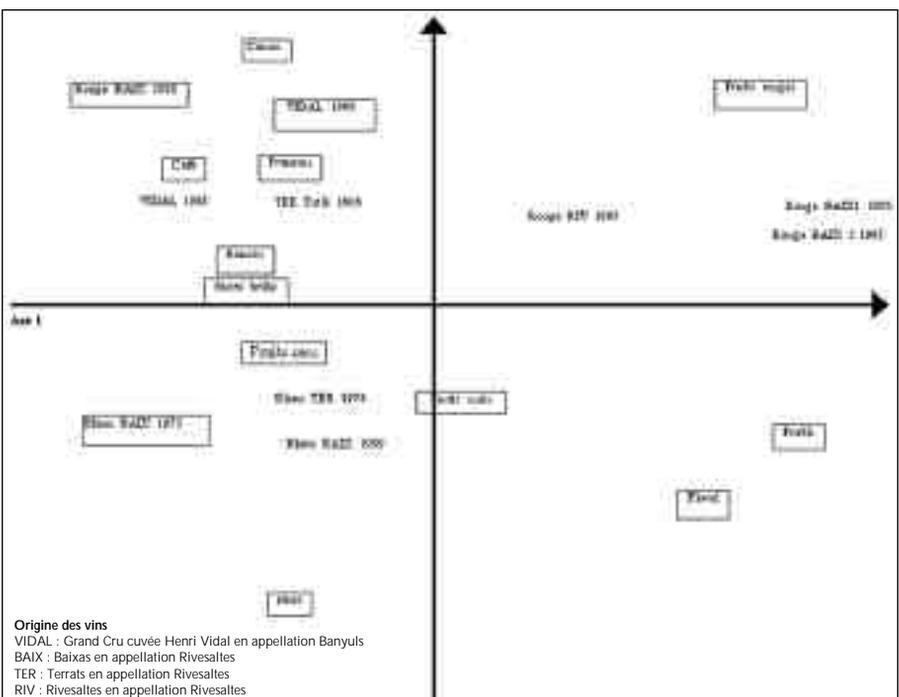


Fig 1 : Analyse factorielle des correspondances sur les données de l'analyse sensorielle descriptive des vins de références. (Le plan présenté résume 93,9% de l'inertie totale du nuage, Axe 1 : 72,79 %, axe 2 : 21,07 %)

On établit ainsi quatre profils aromatiques répartis dans les quatre parties du plan. La proximité des variables sur le plan s'interprète comme leur corrélation. Les descripteurs "fruits rouges" sont toujours associés aux vins doux naturels rouges jeunes. Les descripteurs "cacao", "pruneau", "café" et "caramel" sont associés aux vins rouges les plus âgés. Les descripteurs "miel" et "fruits secs" sont caractéristiques des vieux vins blancs. Enfin, on note la proximité existant entre les vins blancs jeunes et les descripteurs "floral" et "fruité"

1-2- LES ANALYSES PAR CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE

Une fois ces profils aromatiques dressés, les vins retenus pour les analyses par chromatographie en phase gazeuse couplée à la détection olfactive (CPG/DO) et couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM) sont le Banyuls 1968 (VDN rouge) et le Rivesaltes 1974 (VDN blanc). Ces vins sont choisis pour la représentativité de leurs arômes au sein des types VDN blancs et rouges vieillissants. L'extraction directe par le dichlorométhane permet d'obtenir des extraits organiques riches en substances volatiles.

L'analyse des extraits organiques de VDN par chromatographie en phase gazeuse couplée à la détection olfactométrique est un moyen original, aujourd'hui bien connue en chimie des arômes, pour reconnaître certains composés odorants élués au cours de l'analyse chromatographique. Pour cela on utilise le nez humain comme détecteur. Cette technique dénommée olfactométrie constitue une méthode de choix dans la recherche et l'identification de molécules odorantes souvent présents à l'état de traces. Cette analyse permet de constituer un aromagramme dans lequel de nombreuses zones odorantes sont repérées. On repère 24 zones odorantes présentant à l'olfac-

tion les mêmes arômes que ceux sélectionnés lors de la dégustation.

Dans un deuxième temps, les analyses par CPG/SM, permettent de relier les différentes zones odorantes aux pics chromatographiques correspondants. Les différentes techniques spectroscopiques permettent l'identification des composés volatils spécifiques des arômes qui nous intéressent. Ainsi, les nombreuses zones aromatiques ont pu être corrélées à une structure chimique. Le couplage par CPG/DO et CPG/SM permet de mettre en évidence plusieurs composés volatils odorants apparaissant au cours de l'élevage des VDN et susceptibles de contribuer à leur arômes caractéristiques.

Le dosage, la détermination des seuils de perception et le calcul des indices aromatiques ($I = \text{concentration/seuil de perception}$) permettent de préciser quelles sont les molécules intervenant significativement dans l'arôme de vieillissement typique des VDN. Seuls cinq composés volatils odorants, ont un rôle actif sur l'arôme des vieux vins doux naturels non muscatés. Il s'agit du furfural, du 5-éthoxyméthylfurfural, du sotolon (3-hydroxy-4,5-diméthyl 2(5H) furanone), de la vanilline et des isomères de la γ -méthylactone.

Le furfural est caractérisé par une odeur d'amande grillée et possède un seuil de perception de 15 mg/l. Les VDN présentent des teneurs en furfural de 0 à 130 mg/l. Plus les VDN sont âgés et plus les teneurs en furfural sont importantes.

Le 5-éthoxyméthylfurfural est caractérisé par une odeur de cannelle et de fruits secs, mais également par des odeurs de pain blanc à nuances fruités et piquantes selon BERTUCIOLI (1976). Cette molécule présente un seuil de perception de 90 $\mu\text{g/l}$ et les quantités rencontrées dans les VDN vont de 0 à plus de 8000 $\mu\text{g/l}$.

Le sotolon, bien connu pour son odeur de curry et de noix, présente un seuil de perception dans les VDN de 10 $\mu\text{g/l}$.

Les quantités rencontrées dans les VDN vont de 0 à près de 1400 µg/l.

La vanilline caractérisée par son odeur de vanille est présente dans les VDN les plus oxydés. Enfin les **cis et trans - méthylactalactone** proviennent exclusivement de l'élevage sous bois. Cependant certaines autres molécules telles que, l'acétylformoïne, le dihydromaltol et l'hydroxymaltol n'ont pas pu être synthétisées à temps. Leur seuils de perception olfactive et par conséquent leur impact sensoriel sur l'arôme des VDN non muscatés fait malheureusement encore défaut dans cette étude. Il en va de même pour la

DDMP : cette molécule a pu être synthétisée, cependant, elle n'est pas à un taux suffisamment pur pour permettre l'étude de son seuil de perception.

En revanche, le 2,5-furanedicaldéhyde et la furylhydroxyméthylcétone, composés majeurs du miel présentent des concentrations qui atteignent et quelques fois dépassent leur seuil de perception uniquement dans de très vieux VDN. Il en est de même pour la -nonalctone, le lévulinate d'éthyle, la pantolactone et l'éthoxybutyrolactone.

II - Les mécanismes de formation

Cette phase d'identification achevée, il nous a semblé intéressant de déterminer et de comprendre les mécanismes de formation de certaines molécules nouvellement identifiées. L'étude des mécanismes du vieillissement et de l'oxydation des vins est une préoccupation ancienne. L'oxydation a pour conséquence des modifications organoleptiques désignées sous le nom d'évent, de madère et de rancio. BERTHELOT en 1864 a été le premier à signaler et à associer la présence d'éthanal dans les phénomènes d'évents.

Dans le cas des vins secs, ces phénomènes aboutissent à la détérioration du bouquet de vieillissement. En revanche, les phénomènes d'oxydation sont jugées plus que favorables voire indispensables, à la typicité de l'arôme des VDN. Pendant le vieillissement des VDN, nombreuses réactions chimiques où l'oxygène joue un rôle important se produisent. Ce sont ces différentes réactions chimiques ou biochimiques que nous avons essayés de connaître.

L'arôme des VDN a été peu étudié et par conséquent les mécanismes de for-

mation des molécules odorantes ne sont pas connus. Au cours de ce travail, nous avons étudié la formation des composés volatils typiques de l'arôme des VDN à travers une étude expérimentale de vieillissement accéléré au laboratoire mais également dans les conditions d'élevage de la pratique. Au laboratoire les essais ont porté sur des jeunes VDN blancs et rouges conservés en présence et en absence d'oxygène, en étuve à 37°C. Tous les trois mois les composés volatils ont été dosés par CPG/SM pour suivre leur évolution.

Nous avons pu mettre en évidence combien l'évolution de certains composants de l'arôme peut être influencée par l'oxygène et par la présence des composés polyphénoliques responsables de la couleur des vins rouges. En effet, nos essais nous ont permis de classer en quatre catégories les composés volatils, selon que leur évolution est nettement influencée par l'oxygène ou par la couleur du vin, ceux dont la formation est indépendante de ces paramètres, ceux dont la formation dépend uniquement de l'oxygène, ceux

qui sont influencés uniquement par la couleur du vin et enfin ceux à la fois influencés par la couleur du vin et l'oxygène.

A travers quelques exemples on comprend mieux l'évolution de certains composés volatils. Nous allons voir dans le cas présent la formation de trois molécules jouant un rôle actif dans l'arôme des VDN.

II-1- LA FORMATION DU FURFURAL.

Les concentrations en furfural sont toujours plus importantes dans les vins doux naturels soumis à un vieillissement accéléré et conservés en présence d'oxygène, quelle que soit la couleur du vin. En effet dans le cas du VDN rouge, les concentrations en furfural sont toujours plus importantes dans le VDN conservé en présence d'oxygène. Il en est de même pour le VDN blanc (figure 2).

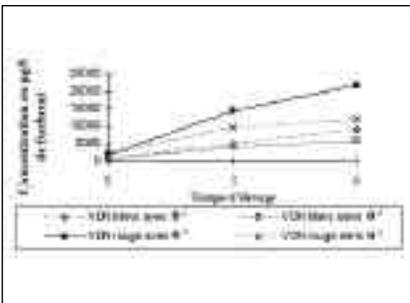


Fig 2 : évolution du furfural dans des VDN blancs et rouges conservés en étuve à 37°C pendant 6 mois

Le furfural est connu pour être un produit des réactions de Maillard entre sucre et acide aminé. Il peut également provenir de la dégradation des pentoses. Cependant, sans avoir pu le démontrer, il semble que la dégradation des sucres soit activée par l'oxygène ce qui pourrait expliquer les fortes quantités de furfural dans les modalités avec oxygène.

II-2- LA FORMATION DU 5-ÉTHOXYMÉTHYL-FURFURAL.

En revanche, le 5-éthoxyméthylfurfural se forme toujours en absence

d'oxygène (figure 3). Le VDN rouge conservé en absence d'oxygène présente les plus fortes quantités de 5-éthoxyméthylfurfural. On observe le même phénomène pour le VDN blanc. Le 5-éthoxyméthylfurfural pourrait provenir de la dégradation du HMF en milieu acide.

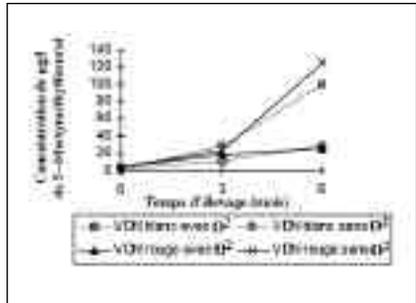


Fig 3 : évolution du 5-éthoxyméthylfurfural dans des VDN blancs et rouges conservés en étuve à 37°C pendant 6 mois

Nous avons observé les mêmes phénomènes dans les conditions de la pratique aussi bien pour le furfural que le 5-éthoxyméthylfurfural. Il est important de noter combien la dégradation des sucres, les réactions de Maillard et la présence d'oxygène semblent être des paramètres importants dans la formation des composés volatils. C'est la première fois que l'on montre que les réactions de Maillard se produisent à 37 °C dans les VDN.

II-3- LA FORMATION DU SOTOLON.

Nous avons constaté que la formation du sotolon est influencée par l'oxygène. Le VDN rouge en présence d'oxygène présente des concentrations en sotolon plus importantes que celui en absence d'oxygène. De même, la concentration du sotolon augmente de façon plus importante dans les vins doux naturels blancs soumis à un vieillissement accéléré en présence d'oxygène (figure 4).

De la même façon, dans les conditions de la pratique, le sotolon augmente toujours fortement dans les VDN blancs ou rouges en présence d'oxygène.

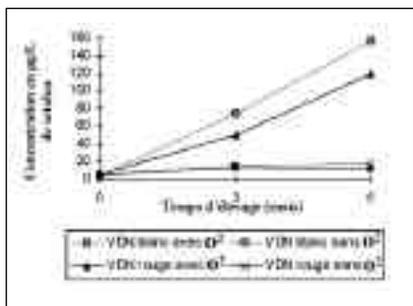


Fig 4 : évolution du sotolon dans des VDN blancs et rouges placés à l'étuve à 37°C pendant 6 mois

Dans la figure 5, les concentrations en sotolon dans un VDN blanc de 1974 conservés selon trois modalités, sont d'autant plus élevés que les contenants sont en bois et en vidange. La modalité 24 ans en demi-muid est plus oxydé que la modalité 24 ans en cuve. Plus l'oxydation est importante et plus les concentrations en sotolon sont élevées.

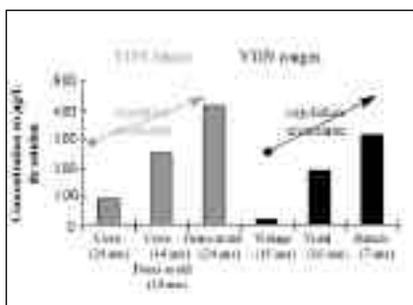


Fig 5 : concentrations en sotolon dans des VDN blancs et rouges

De même dans les VDN rouges à âge quasi identique (figure 5), le VDN rouge "vintage" de 15 ans d'âge, conservé sans oxydation possède des teneurs en sotolon faibles, par rapport à un VDN conservé en milieu moyennement oxydatif (Vidal de 16 ans d'âge). De même le rancio de 7 ans d'âge conservé dans des conditions extrêmes d'oxydation présente des concentrations en sotolon nettement supérieures. On remarque donc que plus l'oxydation est poussée et plus les concentrations en sotolon sont élevées. Le sotolon semble être également influ-

encé par la couleur du vin. A âge et à mode de conservation identique, les VDN blancs présentent des teneurs en sotolon toujours plus élevées que celles rencontrées dans les VDN rouges. Dans la figure 6, pour un âge quasi-identique, le rancio blanc de 29 ans d'âge présente deux fois plus de sotolon que le rancio rouge de 33 ans. On retrouve le même résultat pour des vins secs blancs et rouges dans des conditions d'oxydation extrêmes. Nous

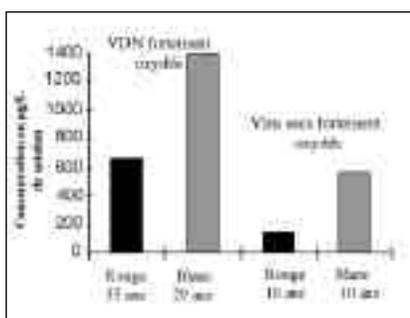


Fig 6 : concentrations en sotolon dans des VDN et des vins secs fortement oxydés

montrons pour la première fois qu'un vin sec à moins de 5g/l conservé dans des conditions d'oxydation poussées présentent de fortes quantités de sotolon. Le sotolon se forme donc toujours en présence d'oxygène. Il est important ici, de souligner qu'à âge et conservations semblables, les VDN blancs présentent toujours des teneurs supérieures à celles rencontrées dans les VDN rouges. On peut donc penser que la présence des composés polyphénoliques, molécules antioxydantes, ralentisse la formation du sotolon dans les vins rouges. Contrairement aux autres molécules identifiés dans les VDN, le sotolon ne provient ni des réactions de Maillard ni de la dégradation des sucres. L'étude de son origine dans les VDN est abordée plus longuement dans la troisième partie.

III- Etude particulière du sotolon et de l'arôme de rancio.

Le caractère " rancio ", souvent associé à l'arôme de " noix rance " est un des descripteurs les plus fréquents de

l'arôme des vins doux naturels. Au cours de ces travaux, la zone aromatique évoquant l'arôme de " curry " et

de "noix" a été corrélée à la 4,5-diméthyl-3-hydroxy-2(5H)-furanone ou sotolon.

Le sotolon a été identifié antérieurement dans l'arôme des vins jaunes du Jura (DUBOIS et al.). On le retrouve également dans le vieux saké (TAKAHASHI et al., 1976), dans la mélasse de sucre de canne (TOKITOMO et al., 1980), dans certains vins botrytisés (MASUDA et al., 1984), dans les graines de Fénu grec (GIRARDON et al., 1986) et dans les vieux champagnes (LOYAUX, 1981).

Nous nous proposons ici, d'étudier l'impact sensoriel de cette molécule dans l'arôme typique des vins doux naturels ainsi que les conditions de vinification et d'élevage propices à l'accumulation de cette molécule.

III-1- IMPACT SENSORIEL DU SOTOLON DANS LES VDN.

A l'issue de nombreux dosages, nous avons essayé de corréliser la concentration en sotolon avec les arômes "rancio", "figue-sèche" et "pruneau" notés à la dégustation sur une échelle de 0 à 10.

La figure 7 représente la corrélation de l'arôme "rancio" avec la concentration en sotolon dans les VDN. En abscisse, on a marqué l'intensité aromatique notée à la dégustation et en ordonnée la concentration en sotolon. On constate plusieurs choses, d'une part le seuil de perception du sotolon est toujours dépassé, d'autre part plus le caractère "rancio" est perçu à la dégustation et plus les concentrations en sotolon augmentent dans les VDN. De plus le coefficient de détermination (R^2) est proche de 1, ce qui indique que la corrélation entre ces deux variables est satisfaisante. Les VDN les plus typés "rancio" présentent tous des concentrations en sotolon supérieures à 600 $\mu\text{g/l}$.

La figure 8 représente une deuxième

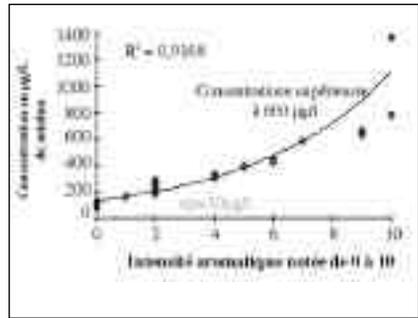


Fig 7 : corrélation de l'arôme "rancio" avec les concentrations en sotolon dans les VDN

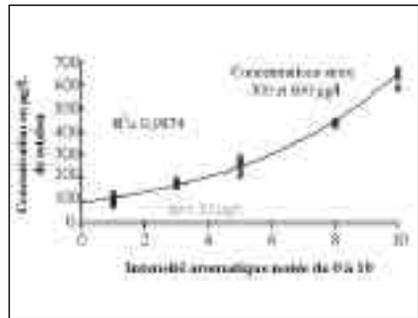


Fig 8 : Corrélation de l'arôme "figue-sèche" avec les concentrations en sotolon dans les VDN

corrélation, celle entre l'arôme "figue-sèche" et la concentration en sotolon. La corrélation est satisfaisante car le coefficient de détermination est proche de 1. On constate également que plus les VDN sont caractérisés par un arôme "figue-sèche" et plus ils présentent des teneurs élevées en sotolon. De plus ces derniers ont des teneurs en sotolon comprises entre 300 et 600 $\mu\text{g/l}$.

En revanche, dans la figure 9 qui croise l'arôme "pruneau" et la concentration en sotolon, on constate que plus les concentrations en sotolon sont élevées et moins le caractère "pruneau" est noté à la dégustation. Il semble donc que le caractère "pruneau" des VDN soit corrélé aux teneurs en sotolon les

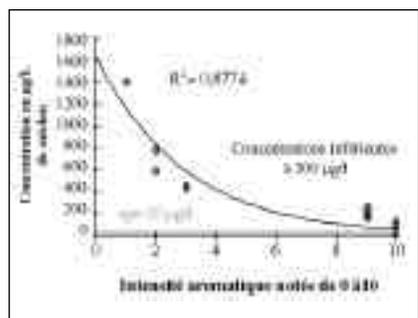


Fig 9 : Corrélation de l'arôme "pruneau" avec les concentrations en sotolon dans les VDN

plus faibles (inférieures à 300µg/l). De plus, compte tenu de la valeur (0,88) du coefficient de détermination, le sotolon ne semble pas être la seule molécule responsable de cet arôme.

Afin de confirmer ces résultats et en particulier de préciser l'impact aromatique du sotolon en fonction de sa concentration, un jury de huit professionnels a dégusté un vin doux naturel blanc additionné de quantités croissantes de sotolon. On demande à chaque dégustateur de décrire l'arôme des VDN selon les descripteurs "pruneau", "figue sèche" et "rancio". La figure 10 présente l'évolution de l'intensité odorante des descripteurs "pruneau", "figue sèche" et "rancio" notée à la dégustation. Les échantillons contenant entre 10 et 310 µg/l de sotolon sont notés avec le descripteur "pruneau" le plus intense. La concentration de 310 µg/l correspond au maximum de l'intensité aromatique du descripteur "pruneau". Les concentrations en sotolon comprises entre 310 et plus de 510 µg/l ($31 < I < 51$) influencent nettement le descripteur "figue sèche". Enfin les vins doux naturels contenant au moins 810 µg/l ($I > 60$) de sotolon sont caractérisés par un arôme "rancio" typique.

Ces résultats confirment parfaitement ceux obtenus lors de la dégustation systématique des différents vins doux

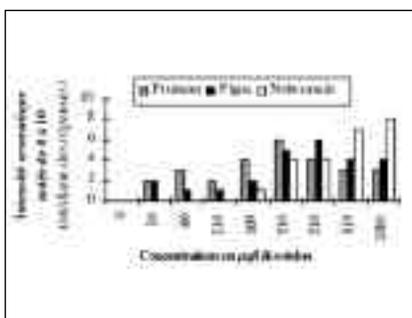


Fig 10 : Evolution de l'intensité odorante des descripteurs "pruneau", "figue sèche" et "rancio" notée à la dégustation.

naturels analysés. Le sotolon intervient donc significativement dans l'arôme des vieux vins doux naturels rouges et

blancs. De plus, la description de l'impact (image olfactive) de ce composé dans l'arôme des VDN dépend de sa concentration.

III-2- FORMATION DU SOTOLON PAR VOIE CHIMIQUE

On sait que le sotolon peut être formé chimiquement par l'aldocondensation de l'acide -cétobutyrique, produit par la désamination biochimique de la thréonine, avec l'éthanal provenant de l'oxydation de l'éthanol (SULSER et al., 1967, PHAM et al., 1995). Au cours du vieillissement oxydatif, l'éthanol se transforme chimiquement en éthanal (CANTARELLI, 1967, WILDENRADT et al, 1974) et permet, en absence de dioxyde de soufre, la formation du sotolon. Rappelons que les vins doux naturels sont toujours élevés en milieu oxydatif, sans voile de levure.

Afin de mieux comprendre les mécanismes de formation du sotolon dans les VDN, nous avons réalisé différentes expériences au laboratoire en présence de glucose, de deux acides aminés, la thréonine et l'acide glutamique et de composés polyphénoliques. Le tableau I regroupe les résultats de dosage du sotolon dans les différentes conditions expérimentales testées.

III-2-1- Expérience en laboratoire en présence de thréonine.

III-2-1-1 Formation de sotolon en présence de thréonine et de glucose en présence ou absence d'air.

Cette expérience est réalisée afin de rechercher la possibilité de la désamination chimique de la thréonine en milieu acide et en présence de fortes quantités d'éthanol comme dans le cas des VDN. Les essais en solutions modèles sont placés à l'étuve à 37°C et sont analysés au bout de quatre et six mois de conservation (tableau I).

On constate que le sotolon se forme,

mais toujours en faibles quantités, à partir de la thréonine et du glucose en présence d'oxygène. En présence d'oxygène, le sotolon peut se former à partir de la thréonine par voie purement chimique.

La dégradation chimique en milieu acide de la thréonine et du glucose aboutit à la formation de la glycine et de l'acide -cétobutyrique. Cet acide peut alors se condenser avec l'éthanal, provenant de l'oxydation de l'éthanol, pour aboutir à la formation de sotolon. Pour la première fois, nous montrons que dans les conditions de pH et de fort titre alcoométrique des VDN, le sotolon peut se former par voie purement chimique à partir de la thréonine et du glucose. Nous confirmons, ainsi les résultats de TAKAHASHI et al. (1976).

La dégradation acide de la thréonine en présence de glucose, comme nous venons de le réaliser en laboratoire, ne

produit que de faibles quantités de sotolon. Selon ce même auteur, l'acide fumarique et malique réagissant avec la thréonine, permettent les formations de sotolon les plus importantes. L'acide fumarique et malique, naturellement présents dans le vin, pourraient également être à l'origine du sotolon dans les VDN.

III-2-1-2- Solutions modèles en présence de thréonine, de glucose, de catéchine d'épicatéchine et de trihydroxybutyrophénone en présence ou absence d'air.

En présence de trihydroxybutyrophénone (THBP) la formation de sotolon est beaucoup plus importante toujours en présence d'oxygène (tableau I). Au pH du vin, la THBP s'oxyde en quinone ; la THBP oxydée possède des propriétés pro-oxydantes favorable à la formation de sotolon.

Tab. I: Formation du sotolon dans une solution modèle placée à 37 °C en présence et en absence d'oxygène et avec ou sans lies de levure. (analyse après 24 semaines de réactions chimiques puis 8 semaines de contact avec des lies fraîches)

Conditions d'élevage	Solutions modèles (éthanol à 18 % vol., 100 g/l de glucose, 5 mg/l de sulfate de fer, 5 g/l d'acide tartrique, pH à 3,5)	Concentrations en ng/l de sotolon		
		Sans lies de levure durant 4 mois	Sans lies de levure durant 6 mois	Avec lies de levure durant 2 mois
En absence d'oxygène	Essai A (témoin, milieu modèle)	0	0	0
	Essai B thréonine (10 mg/l)	0	0	0
En présence d'oxygène	Essai E (témoin, milieu modèle)	0	0	0
	Essai F thréonine (10 mg/l)	450 ± 44	990 ± 97	650 ± 64
	Essai G thréonine (10 mg/l), catéchine (1g/l), épicatechine (1g/l) trihydroxybutyrophénone (200 mg/l)	3200 ± 314	8000 ± 784	8600 ± 843

III-2-2- Expérience en laboratoire en présence d'acide glutamique.

On sait que le sotolon peut également se former par l'aldocondensation de l'acide oxo-glutarique, via l'acide glutamique, avec l'acide pyruvique à pH 8 (KOBAYOSHI, 1989).

Afin de savoir si ce type de réaction pouvait se produire dans les VDN, nous avons réalisé au laboratoire deux expériences faisant intervenir l'acide glutamique et l'acide pyruvique dans les conditions d'acidité et de fort titre alcoométrique rencontrés dans les VDN.

III-2-2-1- Formation du sotolon à partir de l'acide glutamique et de l'acide pyruvique.

Une solution modèle à pH 3,5 et à 18% d'éthanol est supplémentée en acide glutamique (100 mg/l) et en acide pyruvique (10 mg/l). Cette solution est conservée pendant 24 heures dans un four à 100°C. Dans ces conditions, le sotolon se forme en faible quantité (moins de 1µg/l).

III-2-2-2- Formation du sotolon à partir de glucose, d'acide glutamique et d'acide pyruvique.

La même solution modèle additionnée de glucose (100 g/l), d'acide glutamique (100 mg/l) et de d'acide pyruvique (10 mg/l) est placée deux mois à l'étuve à 37°C. La réaction aboutit à une plus forte quantité de sotolon (3µg/l).

III-3- ETUDE DE LA FORMATION DU SOTOLON PAR VOIE BIOCHIMIQUE DANS LES VDN.

Après avoir démontré, la formation du sotolon par voie chimique, il nous restait à déterminer la part de l'origine biochimique dans la formation de ce composé dans les VDN.

Nous avons réalisé des expériences en laboratoire mettant en oeuvre des levures *Saccharomyces cerevisiae* dont le développement a été arrêté par l'ajout de 18 % vol. d'éthanol.

Ce phénomène est identique à celui rencontrés dans la pratique, lors du mutage à l'alcool des VDN. Les solutions modèles précédemment étudiées (III-2-1) ayant subi un vieillissement accéléré en étuve ont été supplémentées avec des levures non proliférantes et conservées deux mois supplémentaires à 37°C.

A l'issue de ce temps, les dosages montrent que les teneurs en sotolon sont peu différentes avec ou sans lies de levure (tableau I). Avec ou sans lies de levure, c'est toujours en présence de la 2, 4, 5-trihydroxybutyrophénone que l'accumulation du sotolon est la plus importante.

Au vue des résultats de l'essai F, on peut néanmoins penser que la conservation sur lies de levure provoque un ralentissement important de la formation de sotolon. les lies de levure possèdent un pouvoir réducteur important (LAVIGNE, 1996) et limitent l'oxydation du milieu. En présence de THBP (essai G), l'effet réducteur des lies est inhibé et la formation du sotolon se trouve alors favorisée.

Dans les conditions de titre alcoométrique élevé (18 %vol.) aucune levure ne peut se développer. Les levures n'interviennent donc pas dans la formation du sotolon au cours de la vinification et du vieillissement des VDN.

Les conditions d'élevage des VDN sont donc très différentes de celles du vin jaune et du xéres où les levures de voile se développent massivement et sont à l'origine de la formation du sotolon.

IV- Etude sur l'influence du bois dans l'arôme des VDN.

L'utilisation de contenants en bois de chêne et de températures de conservation variables accélèrent l'évolution des vins doux naturels en favorisant la formation des composés volatils responsables de l'arôme de vieillissement. En effet, à la différence d'une conservation en cuve béton, le bois apporte de nombreuses molécules au vin et permet en outre de faciliter les réactions d'oxydation. C'est pourquoi, le contenant en bois et les variations de température influencent favorablement la formation du furfural, du 5-éthoxyméthylfurfural et du sotolon, molécules possédant chacune un effet direct sur l'arôme de vieillissement des vins doux naturels.

De plus, un élevage sous bois de six à sept ans, comme il est pratiqué traditionnellement dans l'élaboration des vins doux naturels, permet l'apparition d'arômes de " vanille " et de " boisé " que l'on retrouve quelques fois à la dégustation. Au cours de l'élevage sous bois, l'apport de la vanilline et des méthyl- γ -octalactones permet d'expliquer ces notes aromatiques.

Plus le bois est vieux et moins il cède de phénols volatils. Seule la vanilline, responsable de l'odeur de " vanille " très fréquemment rencontrée dans les vieux vins doux naturels, présentent des concentrations qui augmentent avec le temps de conservation. Cette substance possèdent des indices aromatiques importants ($1,2 < < 13,7$) dans les vins doux naturels. Elle possède donc un rôle organoleptique non négligeable dans l'arôme des vins doux naturels. Les fortes conditions d'oxydation rencontrées dans les vins doux naturels, ainsi que l'utilisation de très vieux fûts de chêne, sont à l'origine de l'accumulation de cette molécule.

Les méthyl- γ -octalactones typiques du bois de chêne (MASUDA et NISHIMU-

RA, 1981) sont absentes des vins témoins élevés en cuve. En revanche, elles s'accumulent fortement dans les vins doux naturels élevés en fût de chêne et participent activement à l'arôme des vins (1). Elles semblent extraites plus facilement lorsque le vin est conservé en chai non climatisé. A la dégustation, le vin conservé en permanence sous bois neuf n'est pas préféré car jugé trop " boisé ". Contrairement à la vanilline dont la concentration continue à augmenter avec un élevage oxydatif en barrique usagée, les cis et trans méthyl- γ -octalactones sont de moins en moins extraites à partir des fûts usagés.

Les résultats obtenus permettent de mieux connaître les molécules possédant un rôle actif dans l'arôme des vins et qui sont influencées par les conditions d'élevage et de vieillissement. Sur l'ensemble des composés volatils identifiés et dosés, six d'entre eux présentent des indices aromatiques fréquemment élevés (1). Il s'agit du **furfural**, du **5-éthoxyméthylfurfural**, du **sotolon**, de la **vanilline** et des **isomères trans et cis** de la **méthyl- γ -octalactone**.

Les contenants en bois et les variations de températures facilitent généralement la formation des composés volatils étudiés. Le furfural, le 5-éthoxyméthylfurfural et le sotolon atteignent des concentrations toujours supérieures à la valeur de leurs seuils de perception dans les vins élevés sous bois, et ce d'autant plus que le bois est neuf. L'évolution des composés volatils étudiés en conditions réelles est identique à celle observée au laboratoire. D'un point de vue pratique, l'identification et le dosage des isomères de la méthyl- γ -octalactone peut être un indicateur fiable d'un élevage sous bois des vins doux naturels.

Les autres molécules que nous avons

étudiées ne présentent pas séparément des indices aromatiques importants (1). Cependant, il est possible que ses substances puissent posséder des com-

plémentarités synergiques et participent, en combinaison, à l'arôme complexe des vins.

Conclusion

Ce travail, consacré à la caractérisation de l'arôme des vins doux naturels apparaissant aux cours de leur élevage et de leur vieillissement, se proposait :

- d'identifier les composés volatils jouant un rôle actif dans l'arôme des vins doux naturels de type Banyuls et Rivesaltes ;
- de connaître et de comprendre les phénomènes chimiques ou biochimiques à l'origine de leur formation ;
- d'étudier l'évolution des arômes au cours du processus d'élevage en cuve en fût et pendant le vieillissement en bouteille, en tentant de préciser les paramètres, notamment le niveau d'oxydation, susceptibles d'influencer leur évolution ;
- enfin, de préciser le rôle de la conservation sous bois de chêne utilisé pour l'élevage de ce type de vin.

Dans un premier temps, l'analyse d'extraits aux solvants organiques de vins doux naturels par chromatographie en phase gazeuse couplée à la détection olfactométrique a permis de mettre en évidence de nombreuses zones odorantes évoquant des nuances d'arôme telles que le " curry-noix ", " fruits cuits ", " fruits secs ", " sucre-brûlé ", jugées typiques des vins doux naturels et facilement retrouvées à la dégustation.

Dans un deuxième temps, nous avons identifié certains composés volatiles et odorants à l'aide des techniques analytiques de la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de

masse et à la spectroscopie infrarouge. Pour les composés présents dans le commerce, il nous a été facile de confirmer les identifications par co-injection du produit de référence.

Pour les autres, il a été nécessaire de procéder à leur synthèse. Quelques molécules restent encore à synthétiser pour permettre la détermination de leur seuil de perception. Dans un troisième temps, nous avons mis au point une méthode permettant le dosage de ces composés volatils par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.

Cette méthode est simple à mettre en œuvre, rapide et d'une répétabilité satisfaisante.

La détermination des seuils de perception, montrent que trois d'entre eux influencent systématiquement et directement l'arôme des vins doux naturels. Il s'agit du **furfural**, du **5-éthoxy méthylfurfural** et du sotolon.

Le furfural à arôme "d'amande grillée", produit par la dégradation des pentoses et les réactions de Maillard, peut contribuer de façon majeure à l'arôme des vieux vins doux naturels blancs et rouges. Nous montrons que la formation du furfural est favorisée par la dégradation des sucres dans les vins doux naturels en présence d'oxygène.

Le 5-éthoxyméthylfurfural, à odeur de " cannelle ", de " noix " et de " fruits secs ", intervient également dans l'arôme des vins doux naturels. Au cours des expériences au laboratoire,

nous avons montré que ce composé se forme plus facilement à l'abri de l'air. Dans les VDN blancs, le 5-éthoxyméthylfurfural s'accumule plus aisément dans les vins jeunes et moyennement âgés. Cette molécule est plus abondante dans les vieux VDN rouges, mieux protégés de l'oxydation par leurs constituants polyphénoliques. Associer à d'autres composés à déterminer, le 5-éthoxyméthylfurfural pourrait participer à l'arôme "café" caractéristique des VDN rouges vieillies en bouteille.

Les nuances aromatiques apportées par le 5-éthoxyméthylfurfural pourraient varier selon sa concentration. Une étude de l'évolution de l'impact aromatique de cette molécule en fonction de sa concentration est à envisager.

Le sotolon (4,5-diméthyl-3-hydroxy-2(5H)-furanone) est apparu comme une molécule clé de l'arôme des vieux vins doux naturels. Il intervient de façon essentielle dans l'arôme de "figue-sèche" et de "rancio". Mais l'impact sensoriel de cette molécule évolue très nettement selon son niveau de concentration. A lui seul, le sotolon peut expliquer le caractère "pruneau" des VDN rouges et les nuances "figue-sèche" et "rancio", plus typiques des VDN blancs ou du vieillissement oxydatif intense. En effet, l'oxydation et le temps de vieillissement sont des facteurs essentiels à la formation du sotolon dans les vins. Nous montrons pour la première fois que le sotolon peut être formé uniquement par voie chimique. Nous avons montré au laboratoire que l'activité désaminase des levures non proliférantes ne permet pas de former des quantités significativement supérieures d'acide γ -cétobutyrique, précurseur avec l'acétaldéhyde du sotolon. Dans les vins doux naturels, la voie principale de formation du sotolon est donc de nature chimique. La dégradation oxydative des acides organiques du vin et des

sucres en milieu acide pourrait expliquer la formation l'acide γ -cétobutyrique, facteur limitant du sotolon.

A âge identique, le sotolon est toujours plus abondant dans les vins doux naturels blancs que dans les vins doux naturels rouges.

La présence en quantité importante de composés polyphénoliques dans les vins rouges est en grande partie responsable de leur plus faible teneur en sotolon. En effet, les polyphénols possèdent la propriété de s'opposer aux oxydations brutales, en piégeant les radicaux oxydants formés sous l'action de l'oxygène. L'éthanal formé par la peroxydation de l'éthanol du vin est le second élément indispensable à la synthèse du sotolon. Les polyphénols réagissent rapidement avec cet aldéhyde en milieu acide. Les plus faibles teneurs en polyphénols dans les vins blancs expliquent que les teneurs en sotolon soient, à âge et oxydation comparables, en moyenne trois fois plus importantes.

Pour la première fois, grâce au dosage de plusieurs composés volatils et odorants, il a été possible d'illustrer objectivement les différences d'évolution de l'arôme des vins blancs et des vins rouges au cours de leur vieillissement.

Dans ce travail, nous avons également étudié l'influence de la nature du contenant et des variations des températures au cours de l'élevage des vins doux naturels. La conservation sous bois et les variations de températures facilitent la formation de nombreux composés volatils intervenant dans l'arôme des VDN. L'identification et le dosage des isomères de la β -méthyl- γ -octalactone est un indicateur fiable de l'élevage sous bois des vins doux naturels. Parmi les différents phénols volatils, seule la teneur en **vanilline** augmente avec le temps d'élevage et ce d'autant plus que le contenant est en bois et que le degré d'oxydation est

important. Cette molécule atteint très souvent son seuil de perception. L'influence de la vanilline et de la méthyl- γ -octalactone dans l'arôme des VDN est donc considérable.

L'apport en substances odorantes du bois, jugé souvent comme accessoire, se révèle en fait assez important.

L'ensemble de ces résultats permet, non seulement de mieux connaître les molécules responsables des différentes nuances de l'arôme, mais également de mieux comprendre les conditions de leur apparition dans les VDN.

Ces résultats pourraient aider à l'élaboration et à la rationalisation de l'assemblage des vins doux naturels.

Enfin, certains aspects de nos recherches mériteraient d'être précisés. Beaucoup de molécules, considérées individuellement ne possèdent pas d'indices aromatiques élevés.

Cependant, il est possible que ces molécules agissent en synergie et puissent ainsi jouer un rôle significatif dans l'arôme complexe des VDN.

Une étude de ces réactions serait donc souhaitable. De plus, la connaissance des composants caractéristiques de

l'arôme des vins doux naturels demeure incomplète. Seules les nuances " fruits secs , figue ", " caramel ", " sucre-brûlé ", " rancio " sont aujourd'hui expliquées. D'autres caractères, comme les odeurs de " cacao " et de " torréfaction " restent à expliquer. Le caractère " pruneau ", des VDN n'est que partiellement expliqué.

Des études complémentaires sont encore nécessaires pour préciser toutes les molécules capables d'expliquer ce descripteur fréquent dans l'arôme des vins rouges.

Les molécules responsables des ZO 15 et ZO 16 qui correspondent vraisemblablement à deux esters devraient pouvoir être identifiées par l'utilisation de chromatographie préparative.

Enfin, les récentes découvertes sur l'arôme et l'importance des phénomènes oxydatifs dans les vins doux naturels, semblent pouvoir apporter de nouveaux éléments sur la connaissance de l'oxydation des vins en général et sur la formation des arômes de vieillissement encore très mal connus.



Bibliographie

- ACREE T.E., 1981. The odor quality of Labrusca Grapes. In Quality of selected fruits and vegetables of North America. TERANISHI R., BARRERA-BENITEZ R., EDS; AMERICAN CHEMICAL SOCIETY: WASHINGTON, DC, PP 11-19.
- BALTES W. ET MEVISEN L., 1988. Model reactions on roast aroma formation. VI. Volatile reaction products from the reaction of phenylalanine with glucose during cooking and roasting. Z. LEBENSM. UNTERS. FORSCH., 187, 209-214.
- BALTES W., 1988. Investigation on thermal aroma formation. In Frontiers of flavor, Proceeding of the 5th Int. Flavor Conf., Porto Karras, Chalkidiki, Greece, 1-3 July 1987. ELSEVIER SCIENCE PUB. B.V., AMSTERDAM., 575- 584.
- BAUMES R., BAYONOVE C., CORDONNIER R. TORRES P. ET SEGUIN A., 1989. Incidence de la macération pelliculaire sur la composante aromatique des Vins Doux Naturels de Muscats. REVUE FRANÇAISE D'OENOLOGIE. N° 116.
- BAYONOVE C., 1973. Recherche sur l'arôme de la pêche. ANN. TECHNOL. AGRIC., 22 (I), 35-44.
- BAYONOVE C., CORDONNIER R., BOIDRON J.N., DIAZ C., BRUGIRARD A., ET TORRES P., 1982. Amélioration de la qualité aromatique des vins doux naturels Muscats. COLLOQUE CIVDN. PERPIGNAN - BULLETIN TECHNIQUE DES P.O.
- BAYONOVE C., GUNATA Z. ET CORDONNIER R., 1984. Mise en évidence de l'intervention des enzymes dans le développement de l'arôme du jus de Muscats avant fermentation. La production des terpénols. B.O.I.V., 57, N° 643-644, 740-758.
- BERTHELOT., 1864. Action de l'oxygène sur les vins. COMPTES RENDUS DE L'ACADEMIE DES SCIENCES. T. 57., P. 80, 292.
- BERTUCCIOLI M. ET VIANI R., 1976. Red wine aroma : Identification of headspace constituents. J. SCI. FD. AGRIC., 27, 1035-1038.
- BLANK I. ET FAY L.B., 1996. Formation of 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone and 4-hydroxy-2(or 5)-ethyl-5(or 2)-methyl-3(2H)-furanone through Maillard reaction based on pentose sugars. J. AGRIC. FOOD CHEM., 44, 531-536.
- BLANK I., FAY L.B., LAKNER J. ET SCHLOSSER M., 1997. Détermination of 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone and 2(or 5) - ethyl-4-hydroxy-5 (or 2)-methyl-3(2H)-furanone in pentose sugar-based Maillard model system by isotope dilution assays. J. AGRIC. FOOD CHEM., 45, 2642-2648.
- BOIDRON J. N ET TORRES P., 1982. Etude et recherche d'un indicateur aromatique des VDN muscats. BULLETIN TECHNIQUE DES P.O., N° 105. (EDIT. CHAMBRE D'AGRICULTURE DES P.O., PERPIGNAN).
- BOIDRON J. N., CHATONNET P. ET PONS M., 1988. Influence du bois sur certaines substances odorantes des vins. CONNAISSANCE DE LA VIGNE ET DU VIN, 22, N°4, 275-294.
- BRUGIRARD A. ET ROQUES J., 1967. Procédés d'élaboration des VDN français. 2e Symposium international d'oénologie. B O R D E A U X - COGNAC- 13-17 JUIN.
- CAMO L., DELONCLE J., FANET J., HOFFMANN Y., PONSICH P. ET SAUVY A., 1980. Les vins du Roussillon. EDITIONS MONTALBA, 125P.
- CANTARELLI C., 1967. Etude de la madérisation et de sa prévention dans les vins blancs. Fermentations et vinifications. 2E SYMPOSIUM INTERNATIONAL D'OENOLOGIE. BORDEAUX-COGNAC. 391-407.
- CERNY, C. ET GROSCH, W., 1992. Evaluation of the potent odorants in roasted beef by aroma extract dilution analysis. Z. LEBENSM. UNTERS. FORSCH., 194, 322-325.
- CHATONNET, P, 1991. Incidences du bois de chêne sur la composition chimique et les qualités organoleptiques des vins- Applications technologiques. THESE DE D.E.R, UNIVERSITÉ DE BORDEAUX II, N°2, 224 P.
- CHATONNET, P, 1995. Influence des procédés de tonnelerie et des conditions d'élevage sur la composition et la qualité des vins élevés en fûts de chêne. THESE DE DOCTORAT. UNIVERSITÉ DE BORDEAUX II, N°338, 268 P.
- CORDONNIER R., 1956. Recherches sur l'aromatization et le parfum des vins doux naturels et des vins de liqueur. ANNALES DE TECHNOLOGIE, I, 75-110.
- CUTZACH I., CHATONNET P., HENRY R. ET DUBOURDIEU D., 1997. Identification of volatile compounds with a " toasty " aroma in heated oak used in barrelmaking. J. AGRIC. FOOD CHEM., 45, N°6, 2217-2224.
- CUTZACH I., CHATONNET P. ET DUBOURDIEU D., 1998A. Etude de l'arôme des vins doux naturels non muscatés. 1ère Partie : Analyse qualitative de l'arôme des vins doux naturels de Banyuls et Rivesaltes rencontré au cours de leur vieillissement. J. INT. SCI. VIGNE VIN. 32, 2, 99-110.
- CUTZACH I., CHATONNET P., HENRY R., PONS M. ET DUBOURDIEU D., 1998B. Etude de l'arôme des vins doux naturels non muscatés. 2ème Partie : Dosage de certains composés volatils intervenant dans l'arôme des vins doux naturels au cours de leur vieillissement. J. INT. SCI. VIGNE VIN. 34, 2, 211-221.
- CUTZACH I., CHATONNET P. ET DUBOURDIEU D., 1998C. Rôle du sotolon dans des vins doux naturels. Influence des conditions d'élevage et de vieillissement. J. INT. SCI. VIGNE VIN. 34, 2, 223-233.
- CUTZACH I., CHATONNET P., HENRY R. ET DUBOURDIEU D., 1999. Identifying new volatile compounds in toasted oak. J. AGRIC. FOOD CHEM. 47, 1663-1667.
- CUTZACH I., CHATONNET P. ET DUBOURDIEU D., 1999. Study of the formation mechanism of some volatile compound during the aging of sweet fortified wines. ACCEPTÉ DANS. J. AGRIC. FOOD CHEM.
- D'ARCY B. R., RINTOUL G. B., ROWLAND C. Y. ET BLACKMAN A. J., 1997. Composition of australian honey extractives. 1. Norisoprenoids, monoterpenes, and other natural volatiles from blue gum (Eucalyptus leucocoxylon) and yellow box (Eucalyptus melliodora). J. AGRIC. FOOD CHEM., 45, 1834-1843.
- DA SILVA FERREIRA A. C. ET BERTRAND A., 1995. Evolution de quelques constituants du vin de Porto au cours du vieillissement. Etude particulière des composés carbonyles. OENOLOGIE 95. LONVAUD FUNEL A. (EDS), LAVOISIER TEC. DOC. (PUB). 520-523.
- DEIBNER L. ET BENARD P., 1956. Recherche sur la maturation des vins doux naturels. I.- Influence du traitement thermique prolongé à l'abri de l'air. ANNALES DE TECHNOLOGIE, III, 357- 376.
- DEIBNER L. ET BENARD P., 1957. Effet de traitement thermiques, à l'abri de

- l'air, sur les qualités des vins doux naturels. ANNALES DE TECHNOLOGIE, IV, 421-427.
- DRAVNIKS A., 1985. Atlas of odor character profiles. American Society for testing and materials (A.S.T.M.), PHILADELPHIA.
- DUBOIS P., RIGAUD J. ET DEKIMPE J., 1976. Identification de la diméthyl-4,5 tétrahydrofuranedione-2,3 dans le vin jaune du Jura. LEBENSM. WISS. U. TECHNOL., 9, 366-368.
- ENGEL K. H., FLATH R. A., BUTTERY R. G., MON T. R., RAMMING D. W. ET TERANISHI R., 1988. Investigation of volatile constituents in nectarines. 1. Analytical and sensory characterization of aroma components in some nectarine cultivars. J. AGRIC. FOOD CHEM., 36, 549-553.
- FAY L. B., HUYNH-BA T., ET BLANK I., 1997. Study of the fragmentation of 3(2H)-furanones by mass spectrometry. J. AGRIC. FOOD CHEM., 45, 4057-4064.
- FEATHER M. S. ET HARRIS J. F., 1973. Dehydration reactions of carbohydrates. Adv. Carbohydr. CHEM. BIOCHEM., 28, 161-224.
- FEATHER M.S., 1981. Amine-assisted sugar dehydration reactions. PROG. FOOD. NUTR. SCI., 5, 37-45.
- FERREIRA A. C. S., BARBE J.C. ET BERTRAND A., 1997. Heterocycles acetals from glycerol and ethanal in port wine. Evolution with oxidative ageing. In " Application de la chimie analytique aux vins et spiritueux ". 411-414, 1ER SYMPOSIUM IN VINO ANALYTICA SCIENTIA. BORDEAUX
- FORREY R.R. ET FLATH R.A., 1974. Volatile components of Prunus salicina, Var. Santa rosa. J. AGRIC. FOOD CHEM., 22, 3, 496-498.
- GIRARDON P., SAUVAIRE Y., BACCOU J.C. ET BESSIERE J.M., 1986. Identification de la 3-hydroxy-4,5-diméthyl-2(5H)-furanone dans l'arôme des graines de Fenugrec (Trigonella foenum graecum L.). LEBENSM. -WISS. U. TECHNOL., 19, 44-46.
- GRADDON A. D., MORRISSON J. D. ET SMITH J. F., 1979. Volatile constituents of some unifloral australien honeys. J. AGRIC. FOOD CHEM., 27, 4, 832-837.
- GUICHARD E., ETIVANT P.X., HENRY R. ET MOSANDL A., 1992. Enantiomeric ratios of pantolactone, solerone, 4-carboéthoxy-4-hydroxybutyrolactone, and sotolon, a flavor impact compound of flor sherry and botrytized wines. Z. LEBENSM. UNTERS. FORSCH. 195 (6) , 540-544.
- GUICHARD E., PHAM T. T. ET ETIEVANT.P.X, 1993A. Mise au point d'une méthode rapide de dosage du sotolon, molécule clé pour l'arôme des vins jaunes du Jura. Connaissance aromatique des cépages et qualité des vins. ACTE DU SYMPOSIUM INTERNATIONAL, MONTPELLIER, 360- 365.
- GUICHARD E., PHAM T. T. ET ETIEVANT P.X, 1993B. Determination of sotolon in wines by high-performance liquid chromatography. CHROMATOGRAPHIA. 37 (9/10), 539-542.
- GUNATA Z., BAYONOVE C., BAUMES R., ET CORDONNIER R., 1985. The aroma of grapes. Localisation and evolution of free and bound fractions of some grape components c.v. Muscat during first development and maturation. J. FOOD. SCI. AGRIC., 36, 857- 862.
- GUTH, H. ET GROSCH, W., 1993. 12-Methyltridecanal, a species-specific odorant of stewed beef. Lebensm. WISS. TECHNOL., 26, 171-177.
- HALEVA-TOLEDO E., NAIM M., ZEHAVI U. ET ROUSEFF R.L., 1997. 4-Hydroxy-2,5-diméthyl-3(2H)-furanone formation in buffers and model solutions of citrus juice. J. AGRIC. FOOD CHEM., 45, 1314-1319.
- HARYATI S., 1992. Valorisation chimique du D-fructose : Obtention et purification du 2,5-furane dicarboxaldehyde. THESE DE DOCTORAT INP TOULOUSE, JUILLET 1992.
- HELAK B., 1987. Modellumsetzungen von sekundaeren aminen und aminosaeuren mit cyclischen enolonen als beitrage zur kenntnis der Maillard-reaktion. DR.-ING. DISSERTATION TECHNICAL UNIVERSITY BERLIN.
- HIFE T.H., 1965. Acylal hydrolysis. The hydrolysis of g-ethoxy-g-butyrolactone. J. AM. CHEM. SOC., 87, 271.
- HODGE, J.E.; FISHER, B.E. ET NELSON, E.C., 1963. Dicarboxyls, reductones, and hétérocyclics produced by the reactions of reducing sugars with secondary amine salts. AM. SOC. BREWING CHEMISTS PROC. 84-92.
- HODGE J.E., 1967. Origin of flavor in food: nonenzymatic browning reactions. In: "The Chemistry and Physiology of Flavors", CHAP 22, 465-485. ED. H. W. SCHULTZ. THE AVI PUBLISHING CO., WESTPORT, CONNECTICUT.
- HURREL R.F., 1982. Maillard reaction in " Food Flavours ", MORTON I.D. ET MACLEOD A.J. ED., PART. A., 399-438, ELSEVIER SCIENTIFIC PUB., NEW-YORK, 473P.
- ISSANCHOU S., SCHLICH P. ET GUICHARD J., 1989. Profil d'odeur des constituants de l'arôme de l'abricot, description par l'analyse factorielle des correspondances. SCI. ALIM, 9, 351-370.
- KAYSER ET DEMELON, 1969. Influence de l'aération sur la formation des produits volatils dans la fermentation alcoolique. REVUE DE VITICULTURE, 1, 61.
- KIM M.O. ET BALTES W., 1996. On the role of 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-méthyl-4(H)-pyran-4-one in the Maillard reaction. J. AGRIC. FOOD CHEM., 44, 282-289.
- KING H. ET WILKEN D. R., 1972. Separation and preliminary studies on 2-ketopantoyl lactone and 2-ketopantoic acid reductases of yeast. THE JOURNAL OF BIOLOGICAL CHEMISTRY, 247, 12, 4096-4098.
- KOBAYASHI A., 1989. SOTOLON. Identification, formation, and effect on flavor. In " Flavor chemistry ; trends and development ", P 49-59, ACS SYMPOSIUM SERIES 388 ; AMERICAN CHEMICAL SOCIETY ; WASHINGTON DC.
- KUWAMARA T. ET TAKAHASHI H., 1969. Studies of the derivatives of epichlorhydrin. III. A new method of preparing g-alkoxy-g-butyrolactones. BULL. CHEM. SOC. JAP., 42, 5, 1345.
- LABORDE, 1910. Etude sur les matières tannoïdes du vin, matière colorante et oenotannin. REVUE DE VITICULTURE. N° 1, TOME XXXIII, 17EME ANNÉE, 206-211 ET 238-242.
- LABORDE, 1917. Contribution à l'étude des aldéhydes du vin. ANNALES DE L'INSTITUT PASTEUR. XXX, 1, 5.
- LANARIDIS P., 1984. Recherches sur quelques aspects microbiologiques de la vinification, THESE 3E CYCLE, UNIVERSITÉ DE BORDEAUX II, 170P.
- LAVIGNE V., 1996. Recherches sur les composés soufrés volatils formés par le levure au cours de la vinification et l'élevage des vins blancs secs. THESE DE DOCTORAT. UNIVERSITÉ DE BORDEAUX II, N°429, 139P.
- LEDL F., SCHNELL W. ET SEVERIN TH., 1976. Nachweis von 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-Méthyl-4(H)-pyran-4-one in Lebensmitteln. Z. LEBENSM. UNTERS. FORSCH. 160, 367-370.
- LEDL F. ET FRITSCH G., 1984. Bildung von pyrrolinonreduktionen beim erhitzen von hexosen mit aminosäuren. Z. Lebensm. UNTERS. FORSCH. , 178, 41-44.
- LOYAUX D., 1981. Analyse des composés volatils de Champagne. Etude de leur évolution au cours du

- vieillesse en présence de levures. THESE DE DOCTEUR INGÉNIEUR, UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE.
- MAGA J.A., 1976. Lactones in foods. CRC. CRIT. REV. FOOD SCI. NUTR., 8, 1-56.
- MAILLARD B., 1971. Additions radicalaires de diols et de leurs dérivés : diesters et acétals cycliques. THESE DE TROISIEME CYCLE. UNIVERSITÉ DE BORDEAUX I. NUMÉRO D'ORDRE 325. P 165.
- MAILLARD L.C., 1912. Action des acides aminés sur les sucres, formation des mélanoidines par voie métabolique. C.R. SOC. BIOL., 66-68.
- MARCHE M. ET JOSEPH E., 1975. Etude théorique sur le cognac et son vieillissement. REV. FR. OENOL., 57, 1-106.
- MARTIN B., ETIEVANT P. X., 1991. Quantitative determination of solerone and sotolon in flor sherry by two-dimensional-capillary GC. HRC & CC, 14, 133-5.
- MARTIN B., ETIEVANT P. X., LE QUERE J. L. ET SCHLICH P., 1992. More clues about sensory impact of sotolon in some flor sherry wines. J. AGRIC. FOOD CHEM., 40, 475-478.
- MASUDA M. ET NISHIMURA K., 1981. Absolute configuration of Quercus lactones, (3S, 4R)-3-methyl-4-octanolide, from oak wood and chiroptical properties of monocyclic-g-nonalactones, CHEMISTRY LETTERS, 1333-1336.
- MASUDA M., OKAWA E., NISHIMURA K. ET YUNOME H., 1984. Identification of 4-5-dimethyl-3-hydroxy-2(5H)-furanone (sotolon) and ethyl-9-hydroxynonanoate in botrytised wine and evaluation at the roles of compounds characteristic of it. AGRIC. BIOL. CHEM., 48, 11, 2707-2710.
- MATHIEU, 1905. L'oxydation spontanée de l'alcool éthylique. BULLETIN DE L'ASSOCIATION DES CHIMISTES DE SUCRERIE ET DE DISTILLERIE.
- MILLS F.D., WEISLEDER D. ET HODGE J.E., 1970. 2,3-Dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4(H)-pyran-4-one. A novel nonenzymatic browning product. TETRAHEDRON LETT. 15, 1243-1246.
- MILLS F.D., ET HODGE J.E., 1976. Amadori compounds: vacuum thermolysis of 1-deoxy-1-L-proline-D-fructose. CARBOHYDRATE RESEARCH. 51, 9-11.
- MORIARTY R.M., BERGLUND B.A. ET PENMASTA R., 1992. Direct a-hydroxylation of ketone under acidic conditions using (bis(trifluoroacetoxy))iodobenzene. TETRAHEDRON LETTERS, 33, 41, 6065.
- MOUREU ET DUFRAISSE, 1922 ET 1924. Sur le mécanisme de l'action antioxygène. BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE FRANCE P. 224 ET P. 424.
- MULLER C. J., KEPNER R. E. ET WEBB A. D., 1972. Identification of 4-ethoxy-4-hydroxybutyric acid g-lactone [5-ethoxydihydro-2(3H)] as an aroma component of wine from Vitis vinifera var. Ruby cabernet. J. AGRIC. FOOD CHEM., 20, 2, 193-195.
- MULLER C. J., KEPNER R. E. ET WEBB A. D., 1978. 1,3-Dioxanes and 1,3-Dioxolanes as constituents of the acetal fraction of spanish fino sherry. AM. J. ENOL. VITIC., 29, 3, 207-212.
- NISHIBORI S., ET KAWAKISKI S., 1994. Formation of 2,3-dihydroxy-3,5-dihydroxy-6-methyl-4(H)-pyran-4-one from fructose and b-alanine under conditions used for baking. J. AGRIC. FOOD CHEM., 42, 1080-1084.
- NISHIBORI S. ET BERNHARD R.A., 1993. Model system for cookies: volatile components formed from the reaction of sugar and b-alanine. J. AGRIC. FOOD CHEM., 41, 2374-2377.
- NITZ S. ET KOLLMANNBERGER H., 1993. Changes in flavour composition during thermal concentration of apricot purée. Z. LEBENSCH. UNTERS. FORSCH., 197, 541-545.
- NUNOMURA N., SASAKI M. ET YOKOTSUKA T., 1980. Shoyu (soy sauce) flavor components : acidic fractions and the characteristic flavor component. AGRIC. BIOL. CHEM., 44, 2, 339-351.
- OHLOFF G., 1969. Chemistry of odoriferous and flavoring substances. FORTSCHR. CHEM. FORTSCH., 12, 185-251 (IN GERMAN; CHEM. ABSTR. 1970, 72, 83R).
- PARK S.K., MORISON J.C., ADAMS D.O. ET NOBLE A.C., 1991. Distribution of free and glycosidically bound monoterpenes in the skin and mesocarp of Muscat of Alexandria grapes during development. J. AGRIC. FOOD CHEM., 39 (3), 514-518.
- PARLIMENT T.H., 1992. Comparaison de thermal and microwave mediated proline: glucose reaction, In Nishibori, S.; Bernhard, R.A. Model system for cookies: volatile components formed from the reaction of sugar and b-alanine. J. AGRIC. FOOD CHEM. 1993, 41, 2374-2377.
- PATTON S., 1950. The formation of maltol in certain carbohydrate-glycine systems. J. BIOL. CHEM. 184, 131-134.
- PELTIER M., 1932. L'aldéhyde, sa formation et sa disparition dans la fermentation alcoolique. Annales de la brasserie et de la distillerie, 30, 79-80.
- PHAM T.T., GUICHARD E., SCHLICH P. ET CHARPENTIER C., 1995. Optimal conditions for the formation of sotolon from a-ketobutyric acid in the french "Vin Jaune". J. AGRIC. FOOD CHEM., 45, 2616-2619.
- PHAM T.T., GUICHARD E. ET CHARPENTIER C., 1996. Quantification of sotolon in french "vin jaune" during aging under yeast film. SCI. ALIMENT. 16 (3), 281-287.
- PUECH J.L., 1978. Vieillesse des eaux de vie en fûts de chêne - Extraction de la lignine et de ses produits de dégradation. THESE N°2087, UNIVERSITÉ PAUL SABATIER DE TOULOUSE, 68P.
- POPOFF T. ET THEANDER O., 1976. Formation of aromatic compounds from carbohydrates. Part III. Reaction of D-glucose and D-fructose in slightly, aqueous solution. ACTA CHEM. SCAND., B 30, N°5, 397-402.
- RAPP A., KNIPSER W., ENGEL L., ULLEMEYER M. ET HEIMANN W., 1980. [Atypical aroma compounds in grapes and wines from interspecies hybrid wines. I. Strawberry note]. fremdkomponenten im aroma von trouben und weinen interspezifischer rebsorten. I. DIE ERD BEERNOTE. VITIS. 19 (1), 13-23.
- RIBEREAU-GAYON J., 1933. Contribution à l'étude des oxydations et réductions dans les vins. Application à l'étude du vieillissement et des casses. 2EME ÉDITION. DELMAS. EDITEUR. BORDEAUX.
- RIBEREAU-GAYON P., BOIDRON J.N. ET TERRIER A., 1975. Aroma of muscat grape varieties. J. Agric. FOOD CHEM., 23 (6), 1042-1046.
- RIBEREAU-GAYON J., PEYNAUD E., RIBEREAU-GAYON P. ET SUDRAUD P., 1976. Vieillesse des vins: conservation en fûts de bois. IN IT : "SCIENCES ET TECHNIQUES DU VIN", 702-719. T.III, DUNOD ED., PARIS, 719P.
- RODIN J.O., HIMEL R.M., SILVERSTEIN R.M., LEEPER R.W. ET GORTNER W.A., 1965. Volatile flavor and aroma components of pineapple. I. Isolation and tentative identification of 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone. J. FOOD SCI., 30, 280-285.
- SALLES C., 1989. Etude structurale des hétérosides précurseurs d'arôme dans le raisin (Muscat d'Alexandrie) et l'abricot (Rouge du Roussillon). THESE UNIVERSITÉ MONTPELLIER II, SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC.

- SASAKI M., 1996. Isolation and identification of precursor of 4-hydroxy-2(or 5)-ethyl-5(or2)-methyl-3(2H)-furanone from isolated soybean protein and shoyu. *J. AGRIC. FOOD CHEM.*, 44, 230-235.
- SCHIEBERLE P., 1992. Formation of furaneol in heat-processed foods. In it : Flavor Precursors-Thermal and Enzymatic conversions. TERANISHI R., TAKEAKA G. R., GÜNTERT M., ED., ACS SYMP. SERIES 490, WASHINGTON, DC, 164-175.
- SCHIEBERLE P., 1993. Studies on the flavour of roasted white sesame seeds. In Progress in Flavour Precursor STUDIES; SHREIER, P.; WINTERHALTER, P.; EDS.; ALLURED PUBLISHERS: WHEATON, IL. PP 343-360.
- SEGUIN A., 1994. La vinification des Muscats. Colloque sur les Muscats CIVDN. PERPIGNAN.
- SEMICHON L., 1905. Traité des maladies des vins. MASSON ET CIE. PARIS. P 654.
- SHU C. ET LAWRENCE B. M., 1995. Formation of 4-alkoxy-g-valerolactones from levulinic acid and alcohols during storage at room temperature. *J. AGRIC. FOOD CHEM.*, 43, 782-784.
- SIMPSON R.F., 1980. Volatile aroma components of Australian port wines. *J. SCI. FOOD AGRIC.*, 31, 214-222.
- SULSER H., DEPIZZOL J. ET BÜCHI W., 1967. A probable flavoring principle in vegetable-protein hydrolysates. *J. FOOD SCI.*, 32, 611-615.
- TAKAHASHI K., TADENUMA M. ET SATO S., 1976. 3-Hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone, a burnt flavoring compounds from aged sake. *AGRIC. BIOL. CHEM.*, 40, 2, 325-330.
- TANG C.S., ET JENNINGS W.G., 1968. Lactonic compounds of apricot. *J. AGRIC. FOOD CHEM.*, 16, 2, 252-254.
- TOKITOMO Y., KOBAYASHI A., YAMANISHI T. ET MURAKI S., 1980. Studies on the " sugary flavor " of raw cane sugar. III. Key compound of the sugary flavor. *PROC. JAPAN ACAD.*, 56, 6, SER. B, 457- 462.
- TONSBEEK C.H.T., PLANCKEN A.J. ET VAN DEN WEERD-HOF T., 1968. Components contributing to beef flavor. *J. AGRIC. FOOD CHEM.* 16 , 1016-1021.
- TONSBEEK C. H. T., KOENDERS E. B., VAN DER ZIJDEN A. S. M. ET LOSEKOOT J.A., 1969. Components contributing to beef flavor. Natural precursors of 4-hydroxy-5-methyl-3(2H)-furanone. *J. AGRIC. FOOD CHEM.*, 17, 397- 400.
- TORRES P., FABRE H., SEGUIN A., ET POUZOLS M.C., 1987. Rapport d'activité-CIVDN, station vitivinicole du Roussillon.
- TORRES P., BRUGIARD A., FANET J. ET SEGUIN A., 1991. La dégustation et le service des vins doux naturels à appellations d'origine contrôlées. UNIVERSITÉ DES VINS DU ROUSSILLON, STATION VITIVINICOLE DU ROUSSILLON.
- TRANCHANT J., 1982. Manuel pratique de chromatographie en phase gazeuse. MASSON, 3E ÉDITION, CHAP.5, 306-309.
- TRESSL R., APETZ M., ARRIETA R. ET GRUNEWALD K.G., 1978. Formation of lactones and terpenoids by microorganisms. IN IT: CHARALAMBOUS G. AND INGLET G.E., (EDS), FLAVOR OF FOOD AND BEVERAGES, ACADEMIC PRESS, NEW-YORK, 145-168.
- TRESSL R., GRUNEWALD K. G., SILWAR R. ET BAHRI D., 1978. Chemical formation of flavour substances. IN : "PROGRESS IN FLAVOUR RESEARCH", CHAP 17, 197-213. (D.G. LAND AND H. E. NURSTEN, EDS), APPLIED SCIENCE PUBL. LTD., LONDON.
- TRILLAT M.A., 1908. L'aldéhyde acétique dans les vins. Origine et effets. ANNALES DE L'INSTITUT PASTEUR. 22, 704-719 ET 754-895.
- VAN DEN OUWELAND G.A.M. ET PEER H.G., 1970. Synthesis of 3,5-dihydroxy-2-methyl-5,6-dihydropyran-4-one from aldohexoses and secondary amine salts. *REC. TRAV. CHIM. PAYS-BAS*, 89, 750.
- VERNIN G. ET PARKANYI C., 1982. Mechanisms of formation of heterocyclic compounds in Maillard and pyrolysis reactions. In : " Chemistry of heterocyclic aroma compounds in flavours and aromas ", CHAP 3, 151-207. ED. G. VERNIN. ELLIS HORIZONTAL, CHITESTER.
- VIDAL J.P., MAZEROLLES G., ESTREGUIL S. ET CANTAGREL R., 1992. Analyse quantitative de la fraction carbonylée volatile des eaux de vie de Cognac dans "Elaboration et Connaissances des Spiritueux. Recherche de la qualité ". Tradition et Innovation. CANTAGREL TEC. DOC. LAVOISIER. 529-537.
- WANDERLINDE R., BERTRAND A. ET SEGUR M. C., 1992. Dosages des aldéhydes dans les eaux de vie dans " Elaboration et Connaissances des Spiritueux. Recherche de la qualité ". Tradition et Innovation.
- CANTAGREL TEC. DOC. LAVOISIER. 506-511.
- WEBB A.D., KEPNER R.E. ET MAGGIORA L., 1967. SHERRY AROMA. VI. Some volatile components of flor sherry of spanish origin. Neutral substances. *AM. J. ENOL. VITIC.*, 18, 190-199.
- WILDENRADT H. L. ET SINGLETON V. L., 1974. The production of aldehydes as a result of oxidation of polyphenolic compounds and its relation to wine aging. *AM. J. ENOL. VITIC.*, 25, 119-126.
- WILLIAMS P. J. ET STRAUSS C. R., 1978. Studies of volatile components in the dichloromethane extracts of australien flor sheries: The identification of the isomeric ethylidene glycerols. *J. INST. BREW.*, 84, 144-147.



20 ter, Boulevard du Général Leclerc - BP 70 - 92203 Neuilly-sur-Seine cedex - France
Tel : 01 46 37 20 78 - Fax : 01 46 37 29 03 - Email : contact@academie-amorim.com
<http://www.academie-amorim.com>