Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 1995, **29**, N°1, 17-26

IMPORTANCE DE LA N-3-(MÉTHYLTHIOPROPYL) ACÉTAMIDE ET DE L'ACIDE 3-MÉTHYLTHIOPROPIONIQUE DANS LES VINS

IMPORTANCE OF N-3-(METHYLTHIOPROPYL) ACETAMIDE AND 3- METHYLTHIOPROPIONIC ACID IN WINES

A. ANOCIBAR BELOQUI, Paula GUEDES de PINHO* et A. BERTRAND

Institut d'Œnologie, Université de Bordeaux II, 351, cours de la Libération, 33405 Talence (France)
*Boursier de la JNICT (Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica) ref - BD/1471/91 IF-Portugal

Résumé : La N-(3-méthylthiopropyl) acétamide a été dosée dans 176 vins issus de différentes origines, cépages et mode de vinification. Dans certains cas la concentration de cette substance peut atteindre 2 mg/l.

D'autre part, l'acide 3-méthylthiopropionique est déterminé dans 75 vins blancs et 55 vins rouges. Les concentrations varient respectivement entre 0 et 70 µg/l et 0 et 140 µg/l dans ces deux types de vins. Ce composé à odeur de rancio signalé dans la littérature pourrait contribuer à l'arôme du vin. Sa formation est liée à celle du méthionol.

Abstract : The content of N-(3-methylthiopropyl) acetamide was determined in 176 wines coming from different origin, cultivar and winemaking process. In some cases it can be founded at concentrations of 2 mg/l. The cultivar seems to be determinant on the amount founded of this compound in wine. In some wines the concentration of N-(3-methylthiopropyl) acetamide can be as high as methionol. During winemaking, the time of maceration increases the concentrations of this compound. The same effect occurs when bentonite is added during fermentation of white wines.

A second compound, 3-methylthiopropionic acid, was determined in 75 white wines and 55 red wines. Its concentration varies respectively on a range of 0 to 70 µg/l and 0 to 140 µg/l . This compound has been described in the literature as, having a butter/« rancio » taste, and is likely to contribute to the wine aroma. Its formation is related with methionol. Evolution of methionol during ageing may lead to 3- methylthiopropionic acid.

Mots clefs : N-3-(méthylthiopropyl) acétamide - acide 3-méthylthiopropionique
Key words : N-3-(methylthiopropyl) acetamide - 3-methylthiopropionic acid

INTRODUCTION

L'étude dans le vin des composés soufrés présente un intérêt particulier compte tenu de leur rôle organoleptique.

Il est possible de diviser cette famille de substances en deux grands groupes, on distingue ainsi les composés dits « légers » possédant un point d'ébullition inférieur à 90°C (point d'ébullition du méthionol) et les composés dits « lourds » dont le point d'ébullition est supérieur à cette température. Ce dernier groupe fait l'objet de notre étude.

Bien que la présence des composés soufrés dans le vin soit tenue pour négative, à cause de leur odeur nauséabonde, particulièrement dans le cas des composés « légers », il est néanmoins nécessaire d'être moins affirmatif pour les composés « lourds ». Ce groupe de substances présente en effet un comportement qu'il est possible de qualifier de paradoxal vis-à-vis de leur influence sur l'arôme du vin.

Des études menées par MIZUSHINA et *al.* (1990) ont démontré que ces composés présents à des concentrations élevées (5 fois supérieures au seuil de perception) déprécient nettement l'arôme du vin, en lui conférant des odeurs d'oignon, de chou, de putréfaction..., alors qu'à des teneurs très faibles (3 fois inférieures aux seuils de perception), ils apportent au vin un caractère fleuri, fruité, favorablement perçu.

TABLEAU I

Échantillons de vins rouges utilisés

Type de vin	Origine	Cépages
Rouges	Navarra (Espagne) Bordeaux Beaujolais	Trempanillo, Grenache Merlot, Cabernet Sauvignon Gamay
Blancs	Vinhos Verdes (Portugal) Alsace	Loureiro, Traixadura Gewurtztraminer, Riesling

La plus parfaite illustration de l'originalité de ces composés se retrouve dans la 4-méthyl-4-mercaptopentan-2-one, principal responsable de l'arôme caractéristique d'un cépage : le Sauvignon blanc (DARRIET et *al.*, 1993).

Si on se réfère aux composés soufrés volatils de point d'ébullition supérieur à 90°C, les travaux initiaux sont les suivants : le premier composé cité dans la littérature est le benzothiazole (DUBOIS et BRULE, 1970). En 1971, un autre composé soufré, le méthionol, a été mis en évidence dans le vin par MULLER (1971). D'autres composés de même nature ont également été signalés : la 2-méthyl-tétrahydrothiophén-3-one, le 3-méthylthiopropanoate d'éthyle et l'acétate de 3-méthylthio propanol (SCHREIER et *al.*, 1974) ; le 2-mercaptoéthanol, trouvé pour la première fois dans des vins allemands à des concentrations très faibles (0,01 µg/l), le *cis* et *trans* 2-méthylthiophanol (odeur d'ail pour l'isomère *trans*, l'isomère *cis* est inodore) et le 4-méthylthiobutan-1-ol (RAPP et *al.*, 1985) ; le 2-méthylthioéthanol (odeur de haricot vert) et la diméthyl sulfone (MIZUSHINA et *al.*, 1990).

Les mécanismes de formation de ces composés par la levure à partir des constituants du moût restent encore inconnus. A ce sujet quelques hypothèses ont été émises. La méthionine est un possible précurseur du méthionol (SCHREIER et *al.*, 1976), l'homométhionine donnerait du 4-méthylthiobutan-1-ol (RAPP et *al.*, 1985) et la cystéine, du 2-mercaptoéthanol (RAPP et *al.*, 1985).

DE MORA et *al.* (1986) ont étudié l'importance du diméthyl sufoxyde dans les vins australiens où il peut atteindre des valeurs de 1,23 mg/l. Ce composé peut être à l'origine d'un autre composé soufré, le diméthyl sulfure (BAMFORTH et ANNESS, 1981), cette substance a un seuil de perception assez bas, 5 µg/l, en solution synthétique (LAVIGNE et *al.*,1993).

Cependant, d'autres composés soufrés non odorants, comme par exemple le bis-(2-hydroxyéthyl) disulfure, peuvent être à l'origine de molécules ayant des atomes de soufre comme le 2-mercaptoéthanol et l'H_2S avec des seuils de perception bas, responsables de mauvaises odeurs dans le vin (ANOCIBAR BELOQUI et *al.*, 1994).

Dans ce travail, nous avons étudié deux composés soufrés « lourds », prépondérants dans le vin, la N-(3-méthylthiopropyl) acétamide et l'acide 3-méthylthiopropionique mis en évidence respectivement par SCHREIER et *al.* (1975) et SCHREIER et DRAWERT (1974). A notre connaissance, il n'existe pas dans la littérature de données concernant les teneurs en acide 3-méthylthio propionique dans le vin.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

I — MATÉRIEL

Les échantillons de vin rouge (tableau I) proviennent d'Espagne (Estación de Viticultura y Enología de Navarra, EVENA) et de France (régions de Bordeaux et Beaujolais). Les vins blancs sont de la région des Vinhos Verdes au Portugal et d'Alsace.

Pour le dosage et l'identification des composés soufrés nous avons utilisé un chromatographe HP5890 et 4 détecteurs différents : un détecteur à photométrie de flamme (FPD), spécifique des composés soufrés, calé à 393 nm, un détecteur NPD sensible aux composés azotés, un détecteur à ionisation de flamme (FID) et un détecteur à spectrométrie de masse fonctionnant en mode SCAN. De plus, on a utilisé un détecteur olfactométrique « Sniffer ».

II — MÉTHODES

1) L'analyse des vins est effectuée selon la méthode décrite par ANOCIBAR BELOQUI et BERTRAND (1994).

Les composés soufrés sont extraits du milieu par

de l'acétate d'éthyle. L'étalon interne est le 4-méthyl-mercaptophénol à 450 mg/l. Après concentration au quart sous courant d'azote, 2 µl de l'extrait sont injectés en mode split/splitless de 30 secondes dans un chromatographe en phase gazeuse (CG), muni d'un détecteur à photométrie de flamme (FPD). La colonne utilisée est de type Carbowax 20M : DBWAX 30 m x 0,32 mm x 0,2 µm (épaisseur du film). La température initiale du four est de 40°C pendant 5 minutes puis elle est programmée avec un incrément de 3°C/min jusqu'à 200°C, température maintenue durant 20 minutes. Le gaz vecteur est l'hydrogène U à un débit de 1,5 ml/min. Le détecteur FPD utilise de l'hydrogène R à 50 ml/min et un mélange d'azote/oxygène (80/20) à 70 ml/min. Le gaz auxiliaire est l'azote R à 70 ml/min.

Les composés sont dosés en se référant à une courbe d'étalonnage informatisée puisque la réponse en FPD n'est pas proportionnelle à la concentration.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I — LA N-(3-METHYLTHIOPROPYL) ACÉTAMIDE

1) Mise en évidence

Un des composés importants existant dans presque tous les vins analysés, parfois à des concentrations plus élevées que le méthionol, est celui correspondant au pic x (son temps de rétention en FPD est de 50 minutes). Parmi tous les composés inconnus, c'est un des pics prépondérants (figure 1).

Afin d'obtenir des informations susceptibles de nous orienter quant à la structure chimique de cette substance, nous avons procédé de la façon suivante : un vin présentant le composé en concentration élevée est extrait par l'acétate d'éthyle selon la méthode décrite, il est injecté selon les mêmes conditions chromatographiques, mais la sortie de colonne est branchée à un détecteur olfactométrique « Sniffer ». Bien que ce composé se trouve à des fortes teneurs, il est inodore.

Nous avons constaté que la concentration de cette substance croissait en fonction de la dose de bentonite utilisée en vinification en blanc, ainsi qu'en fonction de l'ajout de sels de phosphate d'ammonium pendant la vinification en rouge, ce qui nous a fait penser que des composés azotés sont impliqués dans la formation de cette molécule et donc qu'elle pourrait contenir, elle-même, de l'azote. Nous avons donc injecté ce même extrait dans un chromatographe dont l'extrémité de la colonne était branchée, à l'aide d'un « T », simultanément à un détecteur à ionisation de flamme (FID), et un à un détecteur NPD (spécifique des composés azotés). Dans le chromatogramme obtenu avec le détecteur NPD, le pic x est plus grand, ce qui prouve que la molécule en question a, dans sa formule, un ou plusieurs atomes d'azote.

Ce composé a un bon cœfficient de réponse lors de la détection en FPD mais ce n'est plus le cas en FID ni en Spectrométrie de Masse. Il faut savoir si cette sub-

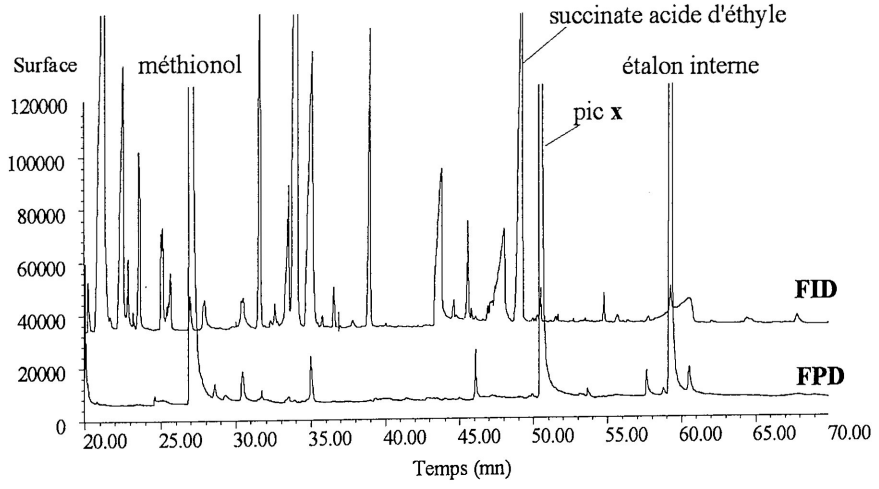


Fig. 1 — Chromatogramme d'un vin contenant la substance x, détection en FID et en FPD

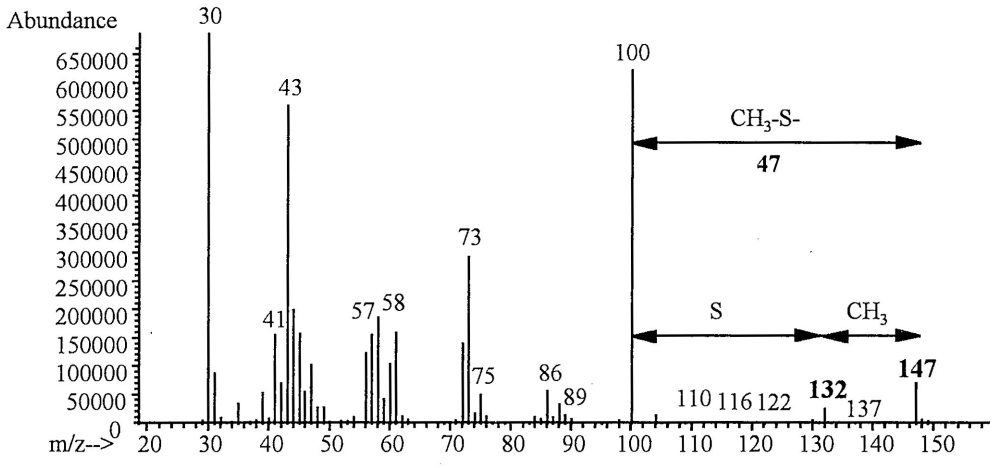


Fig. 2 — Spectre de masse correspondant au pic x

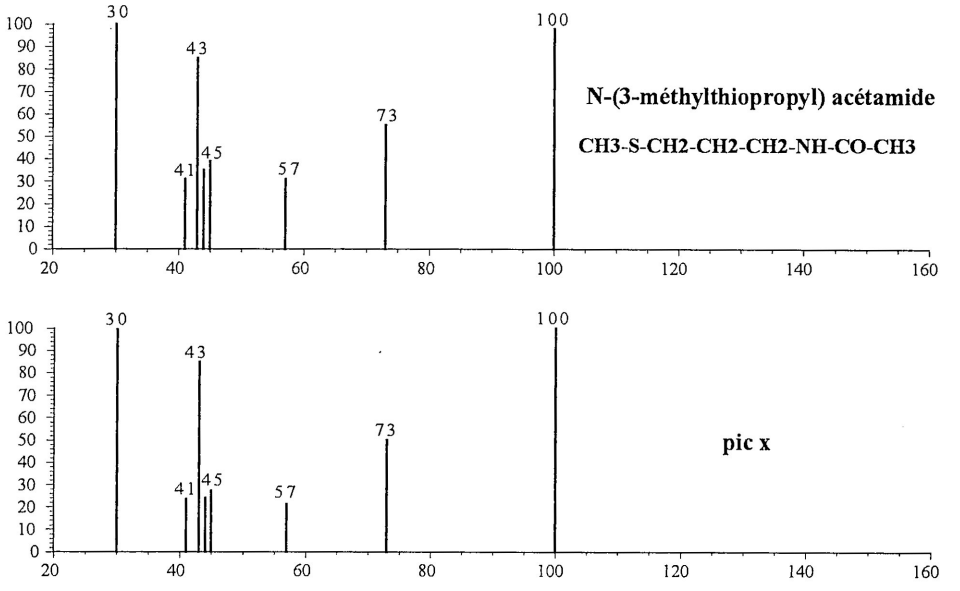


Fig. 3 — Spectre de masse du pic x et de La N-(3-méthylthiopropyl) acétamide, reconstitué à partir des pourcentages d'ions donnés dans la littérature (SCHREIER et *al.*, 1975).

stance sort seule ou en mélange de la colonne chromatographique. Pour répondre à ces questions, on a réalisé la même expérience que la précédente mais dans ce cas là, les détecteurs, qui sont branchés en fin de colonne, sont un FID et un FPD. On a constaté que ce composé n'apparaissait pas mélangé à aucune autre substance du moins à concentration très élévée (figure 1).

Un vin possédant des fortes teneurs de la substance correspondant au pic x a été extrait par l'acétate d'éthyle à plusieurs reprises. Ces extraits sont rassemblés, concentrés et injectés en GC/MS. La bibliothèque de spectres de masse, NBS75k ne contient pas de composé ayant les caractéristiques décrites auparavant.

L'analyse des fragments correspondant au pic x (figure 2) montre qu'il s'agit probablement d'un composé de poids moléculaire 147 (celui de l'ion moléculaire). L'ion principal a pour la valeur de m/z = 100. L'ion m/z = 132 pourrait correspondre à un fragment contenant l'atome de soufre (poids atomique = 32) en plus du fragment principal.

La différence entre 147 et 132 (15) pourrait correspondre à un groupe CH3, il s'agirait donc d'un groupe méthylthio en fin de chaîne. Finalement, l'ion m/z = 43 pourrait être un groupe acétyle.

Avec toutes ces informations on a recherché une substance connue, déjà citée dans la littérature. Un composé de poids moléculaire 147 a attiré notre attention. Il est azoté, avec un groupe acétyle et un groupe méthylthio en fin de chaîne. Le composé pourrait être le N-(3-méthylthiopropyl) acétamide.

La N-(3-méthylthiopropyl) acétamide a été citée pour la première fois par SCHREIER et *al.* (1975). Après reconstitution du spectre de masse à partir des pourcentages des ions donnés dans la bibliographie (figure 3), il est pratiquement certain qu'il s'agit de ce composé, car les deux spectres sont presque semblables.

2) Origine et importance de La N-(3-méthylthiopropyl) acétamide.

Les acétamides peuvent être formées chimiquement au cours du temps par réaction entre l'acide acétique et des amines biogènes (BERTRAND, 1994). L'amine correspondant à cette acétamide est la 3-méthylthiopropylamine citée comme existant dans les vins (SCHREIER et *al.*, 1976). Dans ce cas précis, cette voie chimique de formation ne nous semble pas probable puisque les teneurs les plus élevées trouvées dans les vins correspondaient à des vins analysés juste après fermentation alcoolique.

De même que d'autres amides secondaires, il est possible que la N-(3-méthylthiopropyl) acétamide soit formée par voie biochimique par décarboxylation de l'acide aminé correspondant (dans ce cas la méthionine) et réaction avec l'acétyl~CoA (WEBB et *al.*, 1965). Enfin, SCHREIER et *al.* (1975) montrent que les levures sont capables d'acétyler les amines primaires en acétamides secondaires.

Cependant, des essais de micro vinification en rajoutant de la méthionine n'aboutissent pas à des vins ayant des teneurs plus élevées en cette acétamide.

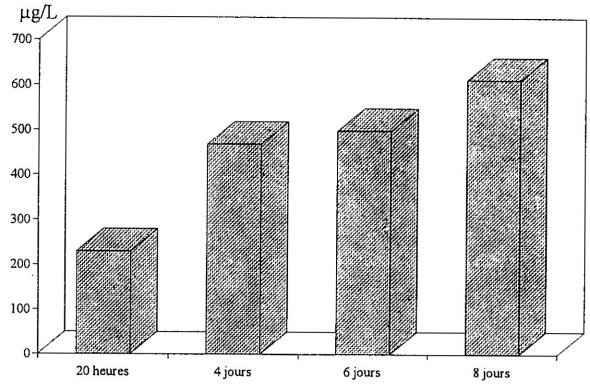


Fig. 4 — Effet de la durée de macération en rouge sur les teneurs en N-(3-méthylthiopropyl) acétamide

Il faudrait donc poursuivre les recherches puisqu'il s'agit d'un composé présent dans les vins à des teneurs élevées.

La N-(3-méthylthiopropyl) acétamide ne contribue pas à l'arôme du vin ; cependant des vins jugés négativement ont des teneurs en cette acétamide élevées (KECK, 1989 cité par RAUHUT, 1992).

176 vins rouges, blancs et rosés confondus, ont été analysés (tableau II). Il n'existe pas de produit de référence, ce composé a donc été estimé par rapport à une courbe étalon de 4-méthylthiobutan-1-ol. La plupart des vins analysés contiennent cette substance, à l'exception de 3 d'entre eux ; même si la moyenne se situe aux alentours de 100 µg/l, il existe un pourcentage de vins (12 p. cent) qui en ont plus de 1 mg/l.

Les vins de Beaujolais possèdent des concentrations très élevées en N-(3-méthylthiopropyl) acétamide, de l'ordre de 1 à 2 mg/l. De même, des vins élaborés à partir de raisins des cépages rouges Tempranillo et Grenache en sont aussi particulièrement riches.

56 vins rouges issus des cépages Merlot et Cabernet Sauvignon de la région de Bordeaux ont été analy-

TABLEAU II

Teneurs en N-(3-méthylthio-propyl) acétamide dans 176 vins analysés

Nombre de vins	Concentration en µg/l de N-(3-méthylthiopropyl) acétamide	
108	de 0 à 200	
49	de 200 à 500	minimum 0
9	de 500 à 1000	maximum 2430
6	de 1000 à 2000	moyenne 94
4	plus de 2000	

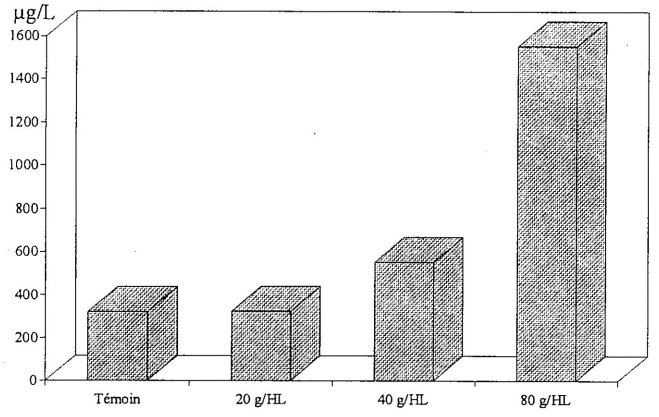


Fig. 5 — Effet de la dose de bentonite, utilisée lors de la fermentation en blanc sur les teneurs en N-(3-méthylthiopropyl) acétamide

sés. La valeur moyenne trouvée est de 294 µg/l. La teneur la plus élevée est de 1760 µg/l. 5 p. cent des vins ont des concentrations en cette acétamide supérieures à 1000 µg/l pour ces cépages. Les valeurs les plus élevées ont été trouvées dans des vins qui présentaient des défauts organoleptiques.

Lors des essais réalisés pendant la campagne 1992-1993, on a observé que le taux de ce composé augmente avec la durée de macération dans les vins rouges (figure 4).

En vinification en blanc, un ajout de bentonite supérieur à 20 g/hl provoque une augmentation importante en N-(3-méthylthiopropyl) acétamide (figure 5). Ceci justifiera des recherches ultérieures pour en fournir l'explication.

II — L'ACIDE 3-METHYLTHIOPROPIONIQUE

1) Mise en évidence

Nous avons remarqué que des vins contenant des fortes concentrations en méthionol possédaient également une autre substance, notée y, dont le pic représentatif était relativement grand. Dans l'objectif de connaître la nature de cette substance, nous avons extrait un vin soit à pH normal, soit à pH = 8. L'analyse chromatographique de ces extraits montre que le pic y est absent de l'extrait correspondant au vin à pH = 8. Il s'agit vraisemblablement d'un composé soufré possédant une fonction acide.

Puisque ce composé existe dans des vins ayant des concentrations élevées en méthionol, nous avons émis l'hypothèse que ces deux substances pourraient avoir le même précurseur. Ainsi, et sachant que le précurseur direct du méthionol est la méthionine (MULLER et *al.*, 1971), nous avons réalisé au laboratoire des fermentations en ajoutant aux moûts de la méthionine à différentes concentrations (10, 20 et 50 mg/l). Les vins finis sont analysés par GC/FPD. L'ajout de 50 mg/l de méthionine provoque une augmentation de la substance correspondant au pic y et du méthionol de 3,5 fois. Les teneurs en 3-méthylthiopropanoate d'éthyle augmentent de la même manière.

Afin d'obtenir une grande concentration de la substance y nous avons effectué une fermentation avec de la méthionine à 8 g/l (concentration 1000 fois supé-

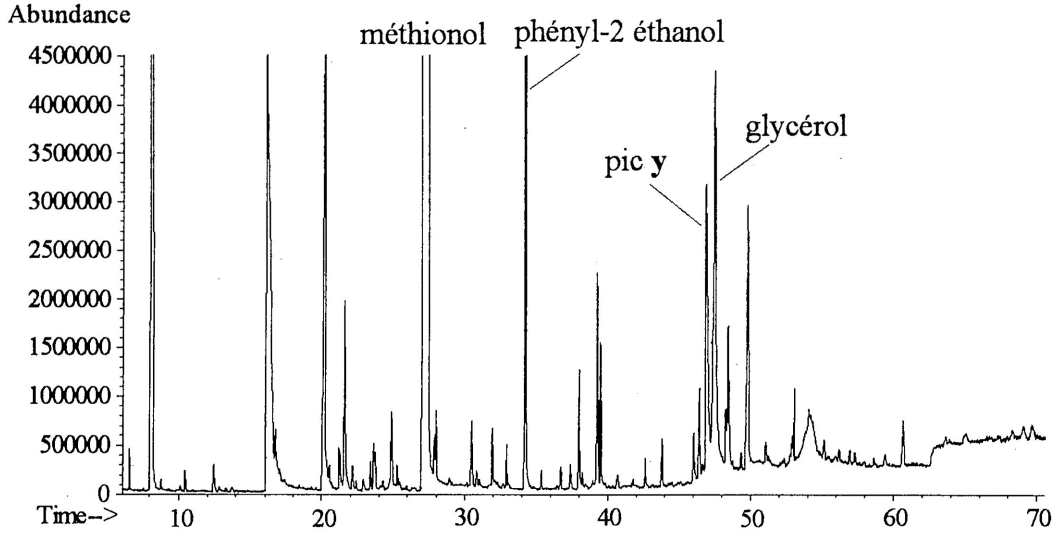


Fig. 6 — Chromatogramme d'un vin contenant la substance y, détection en Spectrométrie de masse

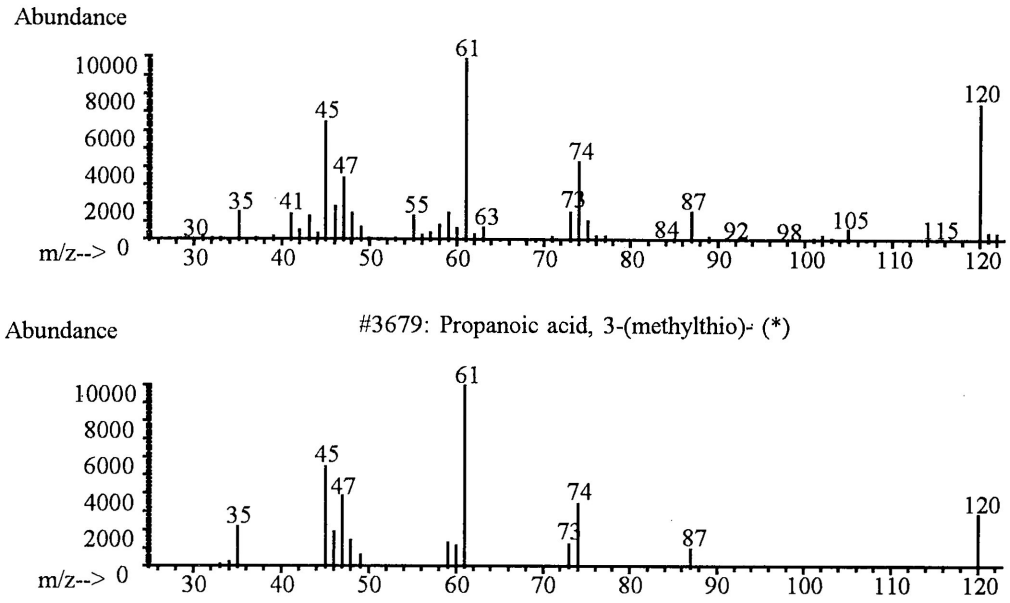


Fig. 7 — Spectre de masse de l'acide 3-méthylthiopropionique, partie supérieure, et spectre de masse fourni par la bibliothèque de spectres NBS75k, partie inférieure

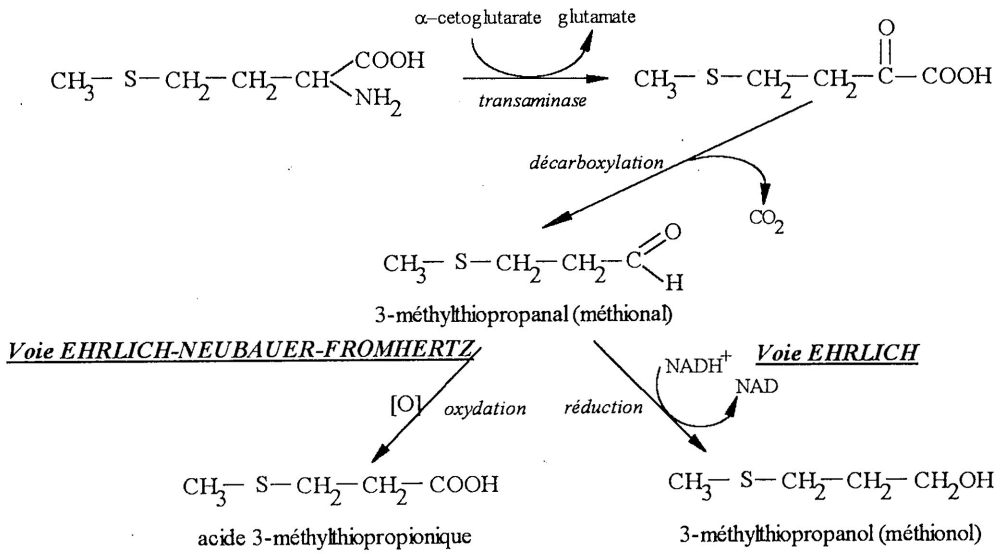


Fig. 8 — Biosynthèse du méthionol et de l'acide 3-méthylthiopropionique

rieure à celle trouvée dans les moûts), afin de provoquer une formation importante de cette substance et ainsi pouvoir l'identifier (figure 6). Par conséquent nous avons pu obtenir un spectre après injection de l'extrait en GC/MS (figure 7).

Selon la bibliothèque NBS75k, il s'agit de l'acide 3-méthylthiopropionique. Il a été identifié auparavant par SCHREIER et *al.* (1974). Selon MISUZHINA et *al.* (1990), il a une odeur de beurre rappelant le rancio.

2) Origine et importance de l'acide 3-méthylthio propionique

De même que pour la formation de plusieurs alcools de poids moléculaire plus élevé que l'éthanol, le méthionol peut être formé pendant la fermentation alcoolique à partir de la méthionine, surtout si elle est présente en excès (MULLER et *al.*, 1971). Selon SENTHESHANMUGANATHAN (1960) la méthionine fait partie du groupe des acides aminés capables

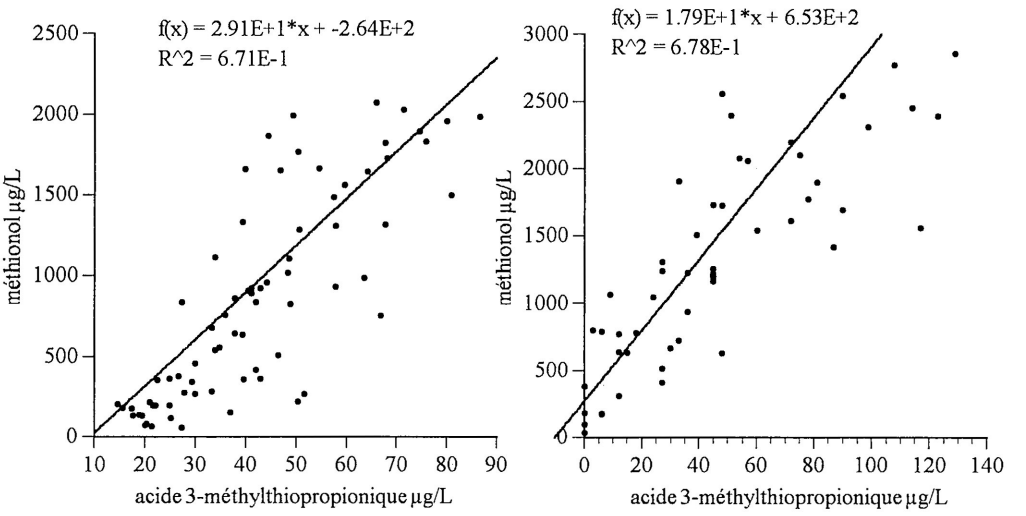


Fig. 9 — Distribution de 75 vins blancs (graphique de gauche) et 55 vins rouges (graphique de droite) selon leurs concentrations en méthionol et acide 3-méthylthiopropionique

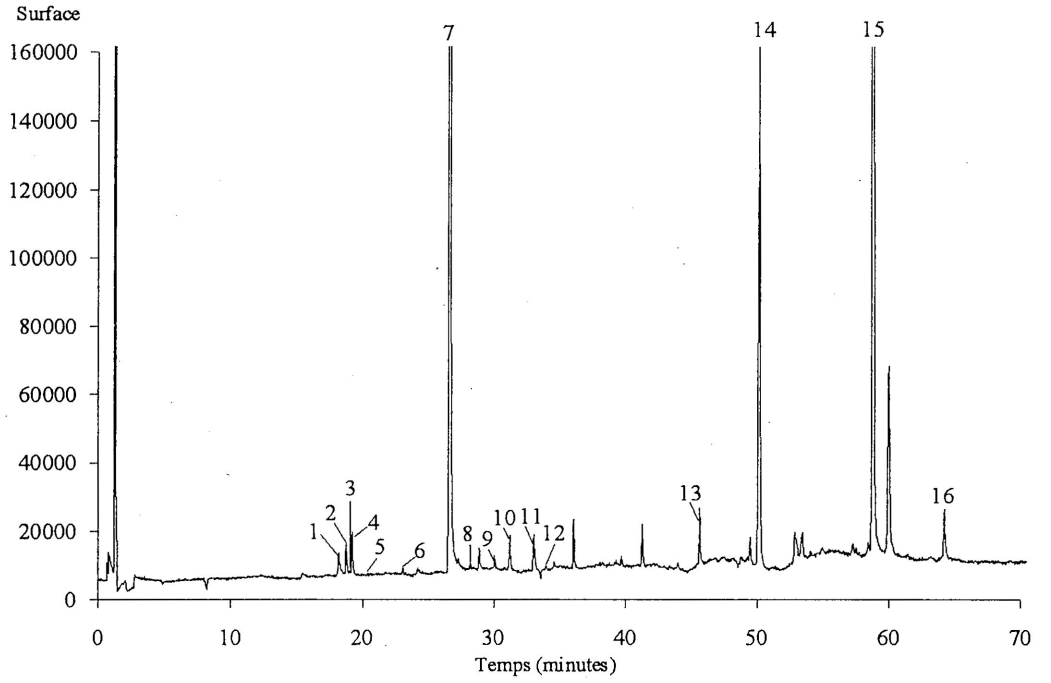


Fig. 10 — Chromatogramme d'un extrait de vin, détection en FPD

1 : 2-mercaptoéthanol - 2 : 2-méthyltétrahydrothiophén-3one - 3 : 3-méthylthiopropanoate de méthyle
4 : 2-méthylthioéthanol - 5 : 3-méthylthiopropanoate d'éthyle - 6 : Acétate de 3-méthylthiopropyl
7 : Méthionol (3-méthylthiopropanol) - 8 : *cis*-2-méthylthiophanol, 9 : *trans*-2-méthylthiophanol
10 : 4-méthylthiobutanol, - 11 : Diméthylsulfone - 12 : 2-benzothiazole - 13 : acide 3-méthylthiopropionique
14 : N-(3-méthylthiopropyl) acétamide - 15 : étalon interne (4-méthylthiophénol) - 16 : bis-(2-hydroxyéthyl) disulfure

d'être métabolisés par *Saccharomyces cerevisiae* en produisant l'alcool correspondant. La voie de formation de ces alcools est celle décrite par EHRLICH, selon laquelle l'acide aminé perd sa fonction amine en formant le cétoacide correspondant. Ce dernier est décarboxylé en un composé intermédiaire aldéhydique, qui est en grande partie réduit pendant la fermentation alcoolique. Cependant, il peut aussi suivre une autre voie et s'oxyder. REAZIN et *al.* (1970) expliquent la formation des acides volatils tels que, l'acide 2-méthylpropionique, l'acide 2-méthylbutyrique et l'acide 3-méthylbutyrique à partir des acides aminés correspondants, c'est-à-dire la valine, l'isoleucine et la leucine. L'acide 3-méthylthiopropionique pourrait donc être synthétisé à partir de la méthionine suivant le même mécanisme (figure 8).

Nos résultats vont dans cette voie puisque l'analyse des composés soufrés « lourds » de 75 vins blancs et 55 vins rouges montre que la formation du méthionol est tout à fait liée avec celle de l'acide 3-méthylthiopropionique, s'agissant indifféremment de vins blancs ou rouges (figure 9)

Les concentrations de ce composé sont estimées par rapport à la courbe d'étalonnage établie pour le 4-méthylthiobutanol, car ce produit n'existe pas dans le commerce. Les concentrations en acide 3-méthylthio propionique peuvent varier entre 0 et 70 µg/l dans les vins blancs et entre 0 et 140 µg/l dans les vins rouges. Le pourcentage d'acide 3-méthylthiopropionique par rapport au méthionol est pour les vins blancs de 4 p. cent et pour les rouges de 3 p. cent. Ce pourcentage est très voisin de celui qui existe entre les teneurs en acides volatils et les alcools supérieurs formés à partir des acides aminés.

La figure 10 montre l'extrait d'un vin avec les substances qu'on a pu identifier. Un grand nombre des composés soufrés restent encore inconnus.

CONCLUSIONS

Des teneurs élevées en N-(3-méthylthiopropyl) acétamide et acide 3-méthylthiopropionique dans certains vins ont été mis en évidence. La N-(3-méthylthiopropyl) acétamide peut être présente dans les vins à des concentrations qui peuvent atteindre celles du méthionol. D'autre part, l'acide 3-méthylthio propionique bien corrélé avec le méthionol pouvait avoir une incidence organoleptique réelle puisqu'il a une odeur de beurre et de rancio (MISUZHINA, 1990). L'évolution du méthionol au cours du vieillissement sera à étudier dans des prochains travaux. Il en est probable qu'il puisse être à l'origine de l'acide 3-méthylthiopropionique.

Avec cette étude, deux composés soufrés, qui peuvent atteindre des teneurs élevés dans les vins, ont été identifiés et évalués.

Remerciements :

Les auteurs remercient la Estation de Viticultura y Enologia de Navarra (EVENA) et la Commission de Viticulture de la Région des Vinhos Verdes (Portugal) pour leur collaboration.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANOCIBAR BELOQUI A., GUEDES de PINHO P. et BERTRAND A., 1994. Bis-(2-hydroxyethyl) disulfide a new sulfur compound found in wine. Its influence in wine aroma. *Am. J. Enol. Vitic.*, **46**.

ANOCIBAR BELOQUI A. et BERTRAND A., 1994. Study on sulfur compounds in wine. Preliminary results. *Ital. J. Food Sci.* (à paraître).

BAMFORTH C. W. et ANNESS B. J., 1981. The role of dimethyl sulfoxide reductase in the formation of dimethyl sulphide during fermentations. *J. Inst. Brew.*, **87**, 30-34.

BERTRAND A., 1994. Evolution des composés volatils au cours de la conservation des vins. I Congrès de Viticulture Atlantique(Galice, 24-29 mai).

DARRIET Ph., TOMINAGA T., DEMOLE E. et DUBOURDIEU D., 1993. Mise en évidence dans le raisin de *Vitis vinifera* var. Sauvignon d'un précurseur de la 4-mercapto-4-méthylpentan-2-one. *Cr. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie*, **316**, 1332-5.

DUBOIS P. et BRULE G., 1970. Etude des phénols volatils des vins rouges. *C.R. hebd. Séances Acad. Agric.*, ser. D. 271, 1597-1598.

LAVIGNE V., BOIDRON J.N. et DUBOURDIEU D., 1993. Dosage des composés soufrés volatils légers dans les vins par chromatographie en phase gazeuse et photométrie de flamme. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **27**, n°1, 1-12.

MIZUSHINA K., TAKASHIMA K., TAKAHASHI T. et TOTSUKA A., 1990. Effects of middle and higher boiling sulfur compounds on wine flavour. *Nippon Jozo Kyokaishi*, **85**, n°2, 120-6.

MORA S. J., LEE P., SHOOTER D. et ESCHENBRUCH R., 1993. The analysis and importance of dimethylsulfoxide in wine. *Am. J. Enol. Vitic.*, **44**, 327-332.

MULLER C. J., KEPNER R. E. et WEBB A. D., 1971. Identification of 3-(methylthio)-propanol as an aroma constituent in Cabernet-Sauvignon and Ruby Cabernet wines. *Am. J. Enol. Vitic.*, **22**, 156-160.

RAPP A., GUNTERT M. et ALMY J., 1985. Identification and significance of several sulfur containing compounds in wine. *Am. J. Enol. Vitic.*, **36,** 219-221.

RAUHUT D., 1992. *Production of sulfur compounds in Wine Microbiology and biotechnology*. Ed. Graham Fleet. Harwood academic publishers, 183-223.

SENTHESHANMUGANATHAN S., 1960. The mechanism of the formation of higher alcohols from amino acids by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biochem. J.*, **74**, 568-576.

SCHREIER.P. et DRAWERT F., 1974. Gaschromatographisch-Massenspectrometrische Untersuchung fluchtiger inhaltsstoffe des weines II/ Thioe-ther-verbindungen des weinearomas. *Z. Lebensm. Unters-Forsch.*, **154**, 279-284.

SCHREIER.P., DRAWERT F. et JUNKER A., 1975. Gaschhromatographisch-Massenspectrometrische Untersuchung fluchtiger inhaltsstoffe des weines IV/ Nachweis sekundärer amide in weine. *Z. Lebensm. Unters-Forsch.*, 34-37.

SCHREIER.P., DRAWERT F. et JUNKER A., BARTON H. et LEUPOLD, G., 1976. Uber die Biosynthese von Aromastoffen durch Mikroorganismen. II. Bildung von schweefel-verbindungen aus Methionin durch *Saccharomyces cerevisiae*. *Z. Lebensm. Unters-Forsch.*, **162**, 115-120.

WEBB A. D., KEPNER R. E. et GALETTO W. G., 1965. Volatile components of sherry wine. II Isolation and identification of N-(2-phenyl) acetamide and N-isoamylacetamide. *Am. J. Enol. Vitic.*, **15**, 1-19.

Manuscrit reçu le 25 août 1994 ;
accepté pour publication le 8 novembre 1994