ETUDE DE L'ORIGINE DE L'AROME DE GERANIUM DANS LES VINS TRAITES PAR L'ACIDE SORBIQUE

G. WÜRDIG *, H.A. SCHLOTTER * et E. KLEIN **
* Institut de chimie vinicole et de physiologie de la fermentation
Station de recherches de Viticulture, Horticulture et Agriculture, Trèves (RFA)
** Laboratoires de recherches Dragoco GmbH, Holzminden (RFA)

UTILISATION DE L'ACIDE SORBIQUE

En Allemagne fédérale, depuis le 15 juin 1971, l'emploi de l'acide sorbique pour le traitement des vins est autorisé jusqu'à la dose limite de 200 mg par litre. Il est cependant obligatoire de faire mention, sur l'étiquette, d'une telle addition, sauf dans le cas de teneurs inférieures à 40 mg par litre.

Etant donné qu'une telle dose ne suffit pas pour éliminer le risque de refermentations indésirables et qu'on ne peut employer des teneurs plus importantes en raison des répercussions, à la vente, de la déclaration d'emploi obligatoire, l'acide sorbique n'a été, initialement, utilisé que pour la conservation du moût destiné à la chaptalisation ; cette limitation d'emploi n'a guère, à l'époque, gêné les utilisateurs puisque l'emploi parallèle du pyrocarbonate d'éthyle en tant qu'antiseptique (« le Baycovin ») était autorisé ; ce produit, ayant fait la preuve de son efficacité, était largement utilisé lors de la mise en bouteille stérile, à froid.

Depuis, la situation s'est modifiée ; par mesure de prudence, l'emploi du pyrocarbonate d'éthyle a été interdit ; la seule alternative à l'embouteillage stérile à froid est restée être la mise en bouteilles à chaud ; dans le même temps, la déclaration d'emploi obligatoire de l'acide sorbique a été supprimée, la dose limite supérieure restant cependant fixée à 200 mg par litre.

Malgré la disparition de l'obstacle principal à son utilisation généralisée, l'emploi de l'acide sorbique ne s'est pas développé comme on aurait

pu s'y attendre ; ceci vient du fait que ce traitement est considéré comme susceptible d'apporter des goûts parasites ; nombreux sont ceux, en effet, qui, lors de la conservation de moûts en présence d'acide sorbique, ont noté l'apparition d' « odeurs de géranium » ; en réalité, on a déjà souligné à plusieurs reprises, l'impropriété d'une telle appellation ; ce défaut d'arôme et de goût n'offre en effet aucune similitude avec l'odeur réelle du géranium et encore moins avec celle du géraniol ; il est cependant possible de donner ce goût à un vin neutre par macération, pendant un certain temps, de feuilles de **Pelargonium.**

D'OU VIENT « l'ODEUR DE GERANIUM » ?

L'étude de l'origine de « l'odeur de géranium » a déjà suscité de multiples travaux.

LÜCK (1970), après avoir discuté des résultats plus anciens, suggère que cette odeur provient de l'oxydation de certains composés du vin en l'absence de SO_2 libre ; il reconnaît cependant qu'il n'y a peut-être pas de relation de cause à effet avec la présence d'acide sorbique.

JAKOB et FÜGLEIN (1972) considèrent, par contre, que cette relation existe, tout en reconnaissant qu'il y en a également une autre avec une faible teneur en SO_2 libre ; pour ces auteurs, « l'odeur de géranium » ne provient pas d'une oxydation mais d'une réduction de l'acide sorbique par des moisissures dont les faibles teneurs en SO_2 libre favorisent le développement ; ils tentent d'expliquer, en même temps, la raison pour laquelle « l'odeur de géranium » se développe progressivement dans les moûts ou les vins traités par l'acide sorbique et non pas immédiatement après le traitement, juste avant la mise en bouteille ; les moisissures, en effet, ne peuvent normalement pas se développer dans le vin en bouteille d'une part à cause de la teneur en alcool, d'autre part à cause de l'absence d'oxygène. JAKOB (1973) affirme cependant que « l'odeur de géranium » peut également se former dans les vins, en particulier lors de refermentations dans des échantillons additionnés d'acide sorbique et contenant encore du sucre.

Au cours d'une expérimentation réalisée en 1965, nous avons conservé pendant 14 mois 40 hectolitres de moût et 40 hectolitres de moût en début de fermentation en présence de 200 mg d'acide sorbique par litre ; on a systématiquement noté toutes les altérations analytiques et organoleptiques constatées au cours de la conservation.

Malgré un nombre insuffisant de levures vivantes, 6 semaines après le début de la conservation, pour rendre impossible toute numération sur membrane et sans dilution, ce n'est seulement que 11 mois après que les symptômes visibles de la fermentation ont pu être constatés. Pendant cette période, la teneur en alcool du moût non fermenté a augmenté, en moyenne, de 0,4 g d'alcool par litre et par mois — c'est-à-dire, au total, de 4,6 à 9,6 g d'alcool par litre.

Dans le cas du moût en début de fermentation, cette augmentation a été en moyenne de 0,1 g d'alcool par litre et par mois, soit au total de 12,3 à 13,4 g d'alcool par litre ; la teneur en SO_2 libre, dans le cas de ce dernier moût, est restée très faible (15 mg par litre) pour augmenter ensuite jusqu'à 35 mg par litre puis retomber enfin à 20 mg par litre.

Après 11 mois de conservation, le vin est filtré sur plaque Seitz EK puis stocké encore 3 mois avant tout autre traitement.

A l'issue de ces 14 mois on n'enregistre ni variation de la teneur initiale en acide sorbique ni développement « d'odeur de géranium ».

Ces résultats montrent qu'une multiplication levurienne en présence d'acide sorbique (provoquant une fermentation alcoolique lente) ne peut être à l'origine de « l'odeur de géranium » ; en généralisant ce résultat — jusqu'à présent, cependant, non confirmé par ailleurs — on peut conclure que, en présence d'acide sorbique, les levures de refermentation ne peuvent pas provoquer l'apparition de « l'odeur de géranium », même dans le cas d'une consommation d'acide sorbique. Ces conclusions restent les mêmes en ce qui concerne les moisissures bien que celles-ci consomment l'acide sorbique en quantité très supérieure aux levures (LÜCK, 1972) ; il n'existe encore aucune preuve d'existence d'une relation entre cette diminution et l'apparition de l'odeur.

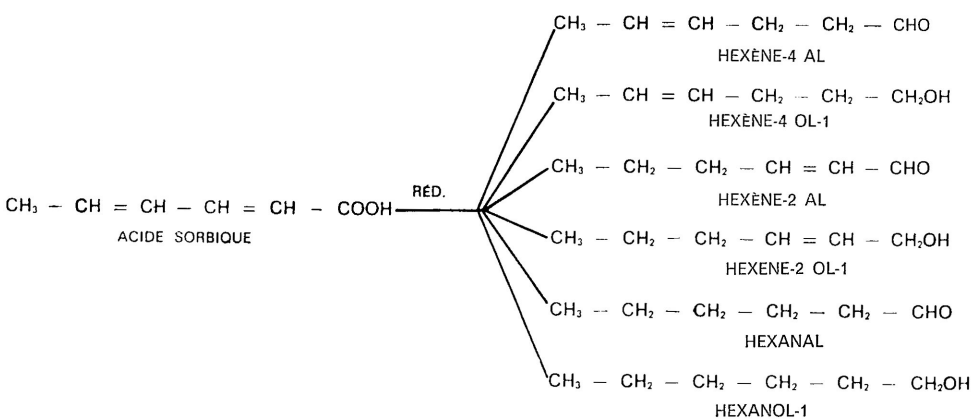
La seule hypothèse restante est celle de l'origine bactérienne ; comme le montrent les résultats de LÜCK (1972) l'addition de la dose limite de 200 mg d'acide sorbique par litre n'a pratiquement pas d'effet inhibiteur vis-à-vis des bactéries ; c'est en particulier le cas pour les bactéries lactiques, homo ou hétérofermentaires, qui ne peuvent transformer l'acide malique en acide lactique que lorsque la teneur en SO_2 libre, devenue suffisamment faible, permet leur multiplication (WÜRDIG et KULLMANN, 1971).

D'après FARKAS (1972) il est possible que, dans les vins mêmes, intervienne une telle réduction bactérienne de l'acide sorbique ; cet auteur

note que dans les vins contenant de 250 à 300 mg d'acide sorbique par litre il s'est produit une telle réduction qui a provoqué certaines altérations ; celles-ci proviendraient de la formation, à partir de l'acide sorbique, d'acide et d'aldéhyde hexyliques ; encore qu'il ne soit pas fait mention explicite « d'odeur de géranium » il est certain que c'est de celle-ci dont il est question.

C'est encore aux bactéries lactiques que LACOSTE (1973) impute la formation de « l'odeur de géranium » dans les vins contenant de l'acide sorbique et pauvres en SO_2 libre ; celles-ci métaboliseraient l'acide en plusieurs composés non identifiés, d'arôme intense ; les essais de laboratoire n'ont cependant pas permis à cet auteur de provoquer artificiellement l'apparition de cette odeur ; ceci semble donc montrer que d'autres facteurs entrent également en jeu.

D'après BURCKHARDT (1973 a, b et c), l'inhibition du développement des levures par l'acide sorbique aurait pour conséquence de favoriser la croissance d'autres microorganismes ; on constate en effet que dans les vins à « odeur de géranium » on a apparition d'acide acétique ou d'acide



lactique, parfois même des deux ; ce même auteur note également que le géraniol ne peut être à l'origine de « l'odeur de géranium » ; par contre, **l'hexénol et l'héxénal,** constituants de base du parfum de **Pelargonium** seraient susceptibles d'apparaître dans le milieu à la suite de la rupture complète ou partielle de la double liaison et par réduction du groupement carboxyle ; encore une fois cependant l'addition au vin de telles substances ne permet pas, au laboratoire, de recréer la moindre « odeur de géranium » semblable à celle des vins altérés ; si donc on peut admettre la présence

de telles substances dans les vins altérés à la suite d'une réduction d'origine bactérienne, leur importance est négligeable dans l'apparition de la véritable « odeur de géranium ».

Ceci est prouvé par la comparaison des seuils de dégustation ; en effet, celui de ces substances est d'environ 0,5 à 5 mg par litre ; or un vin possédant une « odeur de géranium », à la suite d'une infime réduction de sa teneur en acide sorbique, garde celle-ci même après une dilution de plus de 100 fois ; c'est donc que les substances responsables de l'odeur ont un seuil de dégustation de 0,01 mg par litre et plus probablement encore de 0,001 mg par litre. De telles concentrations ne sont que peu, ou même pas du tout, décelables, même par chromatographie en phase gazeuse ; ceci explique pourquoi les substances responsables de cette « odeur de géranium » soient encore, jusqu'à présent, restées inconnues.

EXTRACTION, CONCENTRATION ET ANALYSE PAR CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE DES SUBSTANCES RESPONSABLES DE « L'ODEUR DE GERANIUM ».

Afin d'obtenir une quantité suffisante de substances susceptible d'être analysée avec succès, nous avons cherché à obtenir un extrait concentré de substances à « l'odeur de géranium ».

Ayant constaté, au laboratoire, que « l'odeur de géranium » peut être éliminée par barbottage, à travers une plaque frittée, de CO_2 ou d'azote pendant 50 à 60 minutes, nous avons cherché à réaliser une extraction par entraînement gazeux et piégeage par le froid à partir d'un important volume de vin ; cet essai avait également pour but pratique de montrer qu'un tel traitement est susceptible d'éliminer « l'odeur de géranium », donc de récupérer ainsi un vin utilisable.

On chauffe, pendant 30 heures et à 30 °C, 20 hectolitres d'un vin ayant une forte « odeur de géranium » dans lequel on fait passer, par barbottage et tout au long du chauffage, un volume total de 15 m^3 de CO_2 ; le gaz d'extraction, après passage à travers du chlorure de calcium anhydre, est piégé dans des tubes refroidis par le mélange glace carbonique-acétone.

Les résultats obtenus sont décevants ; en effet, « l'odeur de géranium » n'a pas totalement disparu du vin après un tel traitement ; d'autre part, le condensat, d'environ 50 ml, recueilli dans les pièges réfrigérés ne

contient essentiellement que de l'éthanol et des esters qui ne possèdent pas « l'odeur de géranium » ; bien que l'addition de ce condensat à un vin neutre lui communique « l'odeur de géranium », les quantités nécessaires sont relativement importantes (0,2 ml de condensat par litre de vin).

Ce condensat est analysé par chromatographie en phase gazeuse ; on compare les résultats avec ceux obtenus à partir d'un autre extrait du même vin, réalisé en phase liquide-liquide, en continu, à l'aide de pentane.

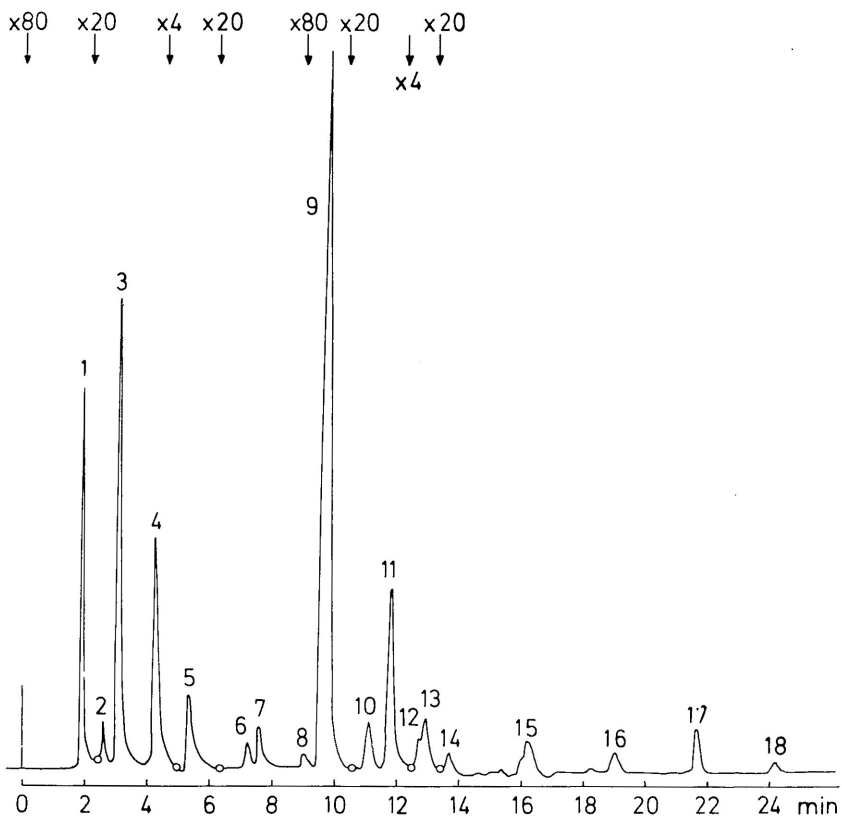


Figure 1. — Chromatogramme en phase gazeuse d'un extrait de vin à « odeur de géranium »

1 - Méthyl-3 butanol-1 2 - Acétate d'isoamyle 3 - Lactate d'éthyle 4 - n-Hexanol 5 - Hexadiénol
6 - Caproate d'éthyle 7 - Inconnu 8 - Caprate d'éthyle 9 - Phényl-2 éthanol 10 - Inconnu
11 - Formiate de phényléthyle 12 - Inconnu 13 - Lactate d'hexadiényle 14 à 18 - Inconnus

Conditions d'analyse : Colonne OV - 101 de 2 m. de long
Température : de 50 à 270 °C
Programmation : 6 °C par minute
Gaz vecteur : Azote

Volume injecté : 1 µl
Détecteur : ionisation de flamme
Appareil : PERKIN-ELMER

La substance présente en plus grande quantité dans l'extrait par le pentane est le lactate d'éthyle ; cette substance est certainement à l'origine du « goût d'ester » des vins à « odeur de géranium ».

Ce goût est particulièrement intense après traitement du vin par le charbon, traitement d'ailleurs totalement inefficace vis-à-vis de « l'odeur de géranium ». Le lactate d'éthyle se trouve absent du condensat, probablement par suite de sa faible volatilité. Cet ester, probablement, se trouve formé au cours de la fermentation malolactique.

Nous avons pu également identifier le méthyl-3 butanol-1 ainsi que le phényl-2 éthanol et l'hexanol-1 ; les teneurs rencontrées sont comparables à celles données par d'autres auteurs ; dans le cas d'une extraction totale, nous avons trouvé 1,7 mg d'hexanol-1 par litre ; REINHARD (1968) trouve, de son côté, des teneurs comprises entre 0,3 et 2,2 mg par litre. La teneur en phényl-2 éthanol que nous avons rencontrée — 27 mg par litre — est située dans la fourchette des teneurs citées dans la littérature (RIBÉREAU-GAYON et SAPIS, 1965, PRILLINGER, 1969).

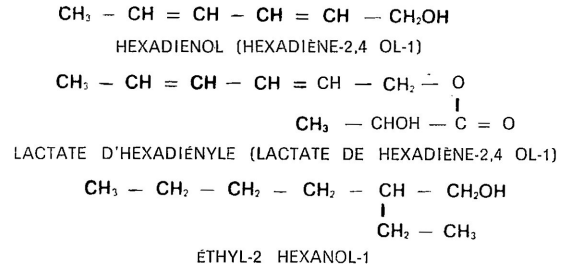
Nous avons en outre trouvé dans ces extraits un grand nombre d'autres substances qui, pour celles déjà identifiées, ont été signalées comme constituants normaux des vins, à l'exception de deux d'entre elles, correspondant aux pics 5 et 13 de la figure 1 : ce sont respectivement le **trans-trans hexadiène-2,4 ol-1** (HD), également appelé sorbinol, et le lactate de **trans-trans hexadiényle-2,4** (HDL) (l'importance des pics est sans signification étant donné que, pour améliorer la mise en évidence de ces substances, de faibles quantités de substances témoins ont été ajoutées).

Nous avons pu également identifier dans le condensat, l'éthyl-2-hexanol ; cette substance, dont l'odeur est semblable à celle du camphre, n'intervient cependant pas dans « l'odeur de géranium » ; il n'est d'ailleurs même pas prouvé qu'il s'agisse d'un produit du métabolisme de l'acide sorbique.

ETUDE DES SEUILS DE DEGUSTATION DE L'HEXADIENOL ET DU LACTATE D'HEXADIENYLE

Il est fortement probable que ces deux substances sont des produits du métabolisme de l'acide sorbique. **L'hexadiénol,** en particulier l'isomère **trans-trans,** pourrait être formé par réduction du groupement carboxyle de l'acide sorbique. Cette hypothèse n'est pas seulement théorique ; MARTH (1969) décrit en effet une réaction identique, c'est-à-dire la conservation de la structure diénol en milieu réducteur, qui bien qu'inhabituelle

se produit lors de la réduction de l'acide sorbique par certains mutants de **Penicillium roqueforti** ; ceux-ci décarboxylent l'acide sorbique en pentadiène-1,3. La présence de **lactate d'hexadiényle** s'explique facilement par l'aisance avec laquelle **l'hexadiénol** se laisse estérifier par l'acide lactique, par chauffage sans catalyseur.



A l'état pur et en solution aqueuse, **l'hexadiénol** possède une odeur et un goût intense d'huile de poisson ; **le lactate d'hexadiényle,** par contre dégage une odeur fleurie. Cependant, si l'on ajoute à un vin neutre de **l'hexadiénol** préparé par synthèse (à partir de **trans-trans hexadiénal** par réduction au moyen d'hydrure de lithium et d'aluminium), il est étonnant de constater que non seulement l'odeur d'huile de poisson n'apparaît pas mais encore qu'à partir de 0,4 mg de produit par litre on obtient l'odeur caractéristique de « géranium ». Il est encore plus surprenant de constater que la valeur du seuil de dégustation, dans le cas d'un vin neutre additionné de 0,4 mg **d'hexadiénol** par litre, diminue avec les temps : 1 jour après l'addition le seuil de dégustation est descendu à 0,3 mg par litre ; 2 jours après à 0,050 mg par litre ; sept jours après à 0,035 mg par litre.

L'addition **de lactate d'hexadiényle** provoque également l'apparition de « l'odeur de géranium », mais avec des teneurs beaucoup plus faibles que **l'hexadiénol ;** l'odeur est déjà perceptible avec une addition de 0,050 mg par litre. Dans le cas de ce composé, également, la valeur du seuil de dégustation diminue avec le temps : 0,035 mg par litre, 1 jour après addition, 0,010 mg par litre 3 jours après. « L'odeur de géranium » se forme également après addition **d'acétate d'hexadiényle** (HDA) mais avec des teneurs beaucoup plus élevées que celles des précédents composés. Le seuil de dégustation se situe immédiatement après addition à 5 mg par litre, un jour après à 0,50 mg par litre, quatre jours après à 0,10 mg par litre.

Si les additions **d'hexadiénol, de lactate et d'acétate d'hexadiényle** sont faites sous forme de solutions alcooliques à 50 p. 100 préparées depuis sept jours, les valeurs des seuils de dégustation sont encore beaucoup plus faibles; 4 jours après une telle addition, à un vin neutre, les seuils respectifs de dégustation sont les suivants : 0,0090 mg par litre pour **l'hexadiénol,** 0,0025 mg par littre pour le **lactate d'hexadiényle,** 0,015 mg par litre pour **l'acétate d'hexadiényle.**

Si la teneur en alcool des diverses solutions-mères de substances-témoins diminue, la valeur du seuil de dégustation augmente ; dans le cas de **l'hexadiénol,** par exemple, si le taux d'alcool de la solution-mère diminue à 0,5 p. 100, la valeur du seuil de dégustation devient cinq fois plus élevée (figure 2).

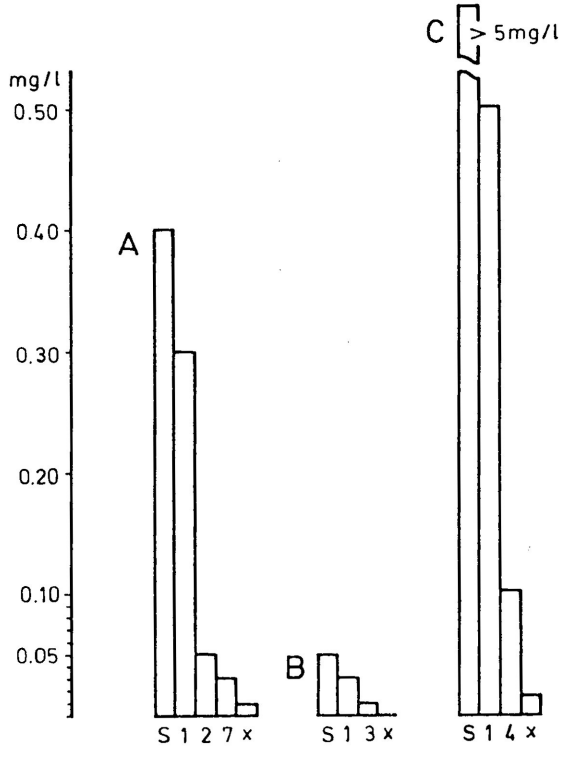


Figure 2. — Diminution des valeurs des seuils de dégustation de l'hexadiénol (A), de lactate (B) et d'acétate (C), d'hexadiényle.

S : immédiatement après addition
1 : 1 jour après
7 : 7 jours après
x : solution hydroalcoolique, âgée de 7 jours, analysée 4 jours après addition

SPONHOLZ, en 1973, est le premier à avoir indiqué qu'il y avait une relation entre la présence de **trans-trans hexadiène-2,4 ol (HD)** et l'odeur de géranium. Cet auteur obtient l'apparition d'une « odeur de géranium » en ajoutant de **l'hexadiénol** à une solution l'acide chlorhydrique 2 N ; il est probable que l'auteur ne s'est pas souvenu que « l'odeur de géranium » se développe également en solution aqueuse et plus fortement en solution alcoolique.

La présence de l'alcool est d'une grande importance pour le développement de « l'odeur de géranium » dans une solution aqueuse contenant HD, HDL ou HDA. Probablement, l'alcool sert d'agent dissolvant étant donné que le HD est presque insoluble dans l'eau. On peut penser que l'augmentation de la solubilité provoquée par l'alcool est également la cause de l'abaissement des valeurs du seuil gustatif après l'addition du HD, au vin. Il n'y a plus d'indice en faveur de l'opinion que nous avons exprimée autrefois que ce phénomène est dû à une isomérisation due à l'alcool du **trans-trans-HD.** Il n'est même pas possible de confirmer que la formation de « l'odeur de géranium » à partir **d'hexadiénol** est la conséquence d'une oxydation ; en effet, cette odeur peut aussi se former dans des conditions de stricte anaérobiose.

La contribution de l'alcool à la formation de « l'odeur de géranium » est confirmée par l'observation que dans un moût de raisins non fermenté on ne pouvait constater aucune odeur de géranium après une fermentation malolactique. Cette odeur n'est survenue qu'après avoir ajouté de tels moûts au vin dans le but du sucrage. Cette odeur peut survenir également par la préfermentation de tels moûts avec « l'odeur de géranium » à l'état latent.

Après le mélange avec le vin, on constate non pas une diminution de l'intensité de l'odeur (ce qui serait normal, à la suite de la dilution) mais au contraire un renforcement considérable. Dans ces deux cas, il est plausible de penser que l'apparition ou l'exaltation de l'odeur de géranium provient de la présence d'alcool en quantité élevée.

En conclusion, si beaucoup de points restent encore du domaine de l'hypothèse, il faut retenir que l'on peut maintenant provoquer l'apparition de « l'odeur de géranium » par addition **d'hexadiénol** et de ses autres esters ; ce point est important et devrait permettre la solution définitive de ce problème.

Comment éliminer « l'odeur de géranium » d'un vin ?

Le traitement du vin par le charbon, parfois conseillé à de très fortes doses (jusqu'à 500 g par hectolitre) était réputé pouvoir donner parfois une amélioration plus ou moins importante. Aucune confirmation systématique n'a pu cependant être enregistrée; au contraire, l'addition massive de charbon, en enlevant de façon certaine couleur et arôme, faisait mieux ressortir « l'odeur de géranium », peu ou pas touchée par le traitement ; le vin ainsi obtenu était encore moins apte au coupage qu'auparavant.

BURCKARDT (1973, c) conseille le traitement par l'huile d'olive ou de paraffine ; vérification faite, les résultats restent très décevants ; l'emploi d'huiles d'origines diverses (paraffine, olive, germe de maïs, tournesol) ne permet d'obtenir que des diminutions très faibles de l'odeur, d'autant plus que le vin (en particulier avec l'huile d'olive) prend un goût d'huile très pénétrant ; il faut alors traiter à nouveau par le charbon ce qui, de nouveau, a pour conséquence de faire ressortir « l'odeur de géranium », plus faible peut-être, mais plus nette.

Afin d'améliorer l'émulsion de l'huile dans l'eau, on a essayé avant mélange au vin, de fixer l'huile sur Kieselghur ; ceci la rend très oxydable (le rancissement intervient en moins d'une journée) et ne peut se concevoir que dans le cas d'une utilisation immédiate ; bien que ce procédé permette d'améliorer le contact du vin avec l'huile, la diminution de « l'odeur de géranium » reste insuffisante ; tout ceci condamne l'emploi de pareils traitements.

D'autre part, les vins ainsi altérés sont impropres à la distillation étant donné que « l'odeur de géranium » passe et se concentre dans le distillat.

Résumé

L'analyse par chromatographie en phase gazeuse de vins traités par l'acide sorbique et présentant une « odeur de géranium » à la suite d'une réduction bactérienne de l'acide lactique permet d'affirmer que cette odeur a très certainement pour origine **l'hexadiène-2,4 ol ;** l'addition au vin de cette substance ou de deux de ses esters (lactate et acétate) permet de reproduire avec une parfaite similitude l'altération naturelle constatée dans les vins traités par l'acide sorbique.

Les seuils de dégustation sont respectivement de 0,009 mg par litre pour **l'hexadiénol,** de 0,0025 mg par litre pour le lactate et de 0,015 mg par litre pour l'acétate.

Pour le développement de « l'odeur de géranium » la présence d'alcool est nécessaire. Il agit probablement en tant qu'agent dissolvant pour **l'hexadiénol** qui est presque insoluble dans l'eau. Cela est confirmé par l'abaissement des valeurs du seuil gustatif après addition **d'hexadiénol** ou de ses esters au vin au cours d'une journée jusqu'à un cinquantième ou même jusqu'à un centième de la valeur immédiatement après l'addition.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BURCKHARDT R., 1973 (a). Observations sur l'influence des traitements des vins vis-à-vis des altérations de l'arôme et du goût. **Dtsch. Weinbau, 28,** 713.

BURCKHARDT R., 1973 (b). Sur le développement de quelques goûts et arômes lors du traitement du moût et du vin par le sorbate de potassium. **Mitt. GDCh — Fachgr. Lebensm. Chem., 27,** 259.

BURCKHARDT R., 1973 (c). Fractionnement des substances aromatiques des moûts et des vins traités par le sorbate de potassium et possédant une odeur de verdure caractéristique rappelant celle des feuilles de géranium broyées. **Dtsch. Weinbau, 28,** 711.

BUTENANDT A., HECKER E. et ZACHAU H.G., 1955. **Chem. Ber., 88,** 1185.

FARKAS J., 1972. Origine des goûts étrangers et de la formation de troubles lors de l'emploi de l'acide sorbique dans la stabilisation des vins. **Vinhorad, 10,** 160.

JAKOB L. et FUGLEIN O., 1972. Observations sur l'emploi de l'acide sorbique pour une bonne conservation des moûts. **Allg. dtsch. Weinfachztg., 108**, 781.

JAKOB L., 1973. Observations sur l'emploi de l'acide sorbique pour la conservation des vins en bouteilles. **Allg. dtsch. Weinfachztg., 109,** 360.

KÜHN R., WINTERSTEIN A., KARLOVITZ L., 1969., cités par LÜCK E., **in acide sorbique.** Tome 1, Hambourg.

LACOSTE J., 1973. Utilisation du sorbate de potassium. **Rev. Franç. Œnol., 50,** 31.

LÜCK E., 1970. Acide sorbique, Tome 3 Technologie, Behr éd., Hambourg.

LÜCK E., 1972. Acide sorbique, Tome 2 Biologie, Behr éd., Hambourg.

MARTH E.H. **cf** LÜCK E., 1970.

PRILLINGER F. et MADNER A., 1969. Evolution des substances aromatiques du vin selon l'état de maturité du raisin. **Mitt. Klosterneuburg, 19,** 361.

REINHARD C., 1968. Chromatographie en phase gazeuse des vins, eaux-de-vie et spiritueux. **Weinwissenschaft, 23,** 475.

RIBÉREAU-GAYON P. et SAPIS J.C., 1965. Sur la présence du tyrosol, tryptophol, alcool phényléthylique, et γ-butyrolactone, produits secondaires de la fermentation alcoolique. **C.R. Acad. Sci. Paris, 261,** 1915.

SPONHOLZ W.R., 1973. Comptes rendus du 7e colloque international de la Chimie du vin, 12.

WÜRDIG G. et KULLMANN K.H., 1971. La sensibilité des levures vis-à-vis de l'acide sorbique lors de la mise en bouteille du vin. **Allg. dtsch. Weinfachztg, 107,** 1011.