LA FERMENTATION MALOLACTIQUE ET SON IMPORTANCE DANS LES VINS ROUGES DE TABLE AUSTRALIENS

B. C. RANKINE
The Australian Wine Research Institute, Adélaïde. (Australie)

Pendant des siècles on a observé qu'après la fin de leur fermentation alcoolique, certains vins rouges de table se troublent en libérant de petites bulles de gaz. Ce curieux phénomène ne paraît pas nuire à la qualité mais souvent, au contraire, semble l'améliorer. Il coïncide généralement avec la montée de la sève dans la vigne et on peut penser que, d'une certaine manière, ces deux phénomènes sont liés ; ils sont cependant le résultat de l'élévation de la température.

Un Allemand, KULISH, en 1889, semble avoir le premier établi la nature biologique du phénomène, bien que PASTEUR l'ait laissé entrevoir auparavant. Depuis, la fermentation malolactique, comme on l'appelle, a été étudiée dans les diverses parties du monde.

Nous connaissons maintenant en grande partie cette fermentation et cet article se propose de résumer brièvement nos connaissances, d'en indiquer les derniers développements, tout particulièrement en ce qui concerne les vins australiens.

KULISH pensait que les levures en étaient les microorganismes responsables mais MULLER-THURGAU, en 1891, montrait que la transformation était due aux bactéries ; Alfred KOCH, en 1900, isolait pour la première fois une bactérie malolactique et provoquait la fermentation en ensemençant le vin avec ces bactéries. La mise en équation de la fermentation malolactique, dans son ensemble, (l'acide malique donnant de l'acide lactique et du gaz carbonique) était réalisée par MOESLINGER en 1901.

La fermentation malolactique est essentiellement la décarboxylation bactérienne de l'acide l-malique en acide lactique avec libération du gaz carbonique. L'acide malique provient du raisin dont il forme, avec l'acide

tartrique, environ 90 p. 100 de l'acidité. Cependant, la fermentation est, du point de vue chimique beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît. Elle est très importante dans la plupart des régions viticoles du monde (1, 9, 15, 22, 28, 33, 34) et tout particulièrement dans celles où les vins ont des acidités élevées.

LES BACTERIES

La fermentation malolactique ne mérite pas son nom car elle est sans rapport avec la fermentation alcoolique normale du sucre. En effet, selon le type de bactéries, le sucre peut ne pas être attaqué du tout. Ces bactéries appartiennent au groupe général des bactéries lactiques, mais leur aptitude à former de l'acide lactique à partir d'acide malique n'a aucune signification taxonomique. La classification des bactéries lactiques est techniquement difficile, car certaines ont des besoins en facteurs de croissance très élevés et se développent difficilement sur des milieux définis tout en restant semblables à la fois par leur morphologie et par certaines de leurs activités biochimiques.

D'importantes études récentes ont beaucoup amélioré nos connaissances de ces bactéries (3, 8, 13, 16, 21, 26, 27).

Les espèces concernées sont : **Micrococcus, Leuconostoc, Pediococcus, Lactobacillus** et **Streptococcus.** Le microorganisme observé par MULLER-THURGAU et OSTERWALDER, **Bacterium gracile,** était probablement un **Leuconostoc.** Une difficulté supplémentaire de l'identification provient de la confusion entre le comportement et la fonction des bactéries : la fermentation malolactique a été confondue avec une maladie du vin dans laquelle les microorganismes attaquent d'autres composés tels que le sucre, l'acide tartrique et le glycérol (33, 36).

Les lactobacilles sont des bâtonnets plus ou moins longs se présentant isolés ou en chaînes. Ils sont gram-positifs, asporogènes, non-mobiles, anaérobies ou microaérophiles et catalase-négatifs. Ils transforment le glucose en acide lactique et en acide acétique, alcool et gaz carbonique; ils forment aussi du mannitol à partir du fructose. Quelques souches attaquent les acides malique, citrique, tartrique et le glycérol. Les bactéries facultativement anaérobies du type coques sont importantes en fermentation malolactique et peuvent être divisées en **Pediococcus** qui sont homofermentaires (produisant seulement de l'acide lactique) et **Leuconostoc** qui sont hétérofermentaires (produisant les acides lactique, acétique et d'autres composés).

L'hétérofermentation est caractérisée par la production de gaz carbonique à partir du glucose. Les organismes qui ont été isolés à partir de vins australiens sont tous hétérofermentaires et comprennent des souches de **Leuconostoc mesenteroides, Lactobacillus hilgardii et Lactobacillus brevis** (11, 12). Quelques unes des souches de **Leuconostoc** peuvent produire dans certaines conditions du dextrane à partir du sucre. Celui-ci donne au liquide un aspect visqueux et est à l'origine des vins « filants » ; ce phénomène est cependant rare en AUSTRALIE. Beaucoup d'autres organismes ont été isolés dans d'autres régions. Ceux-ci comprennent : **Lactobacillus buchneri, Lactobacillus casei, Lactobacillus delbrueckii, Lactobacillus fermenti, Lactobacillus fructivorans, Lactobacillus pastorianus, Lactobacillus plantarum, Lactobacillus leichmanii, Leuconostoc citrovorum, Leuconostoc dextranicum, Leuconostoc gracile, Leuconostoc oinos** et **Pédiococus cerevisiae.** Quelques streptocoques ont aussi été signalés mais leur classification n'est probablement pas correcte.

CULTURE DES BACTERIES.

La culture des bactéries comme condition préalable à leur identification et à leur étude pose des problèmes particuliers en raison de leurs exigences en facteurs de croissance, plus particulièrement pour les organismes hétérofermentaires (35). Les milieux synthétiques de composition définie ne conviennent pas à la plupart des bactéries, compte-tenu de leurs exigences nutritionnelles (17). Les besoins en complexes vitaminiques sont satisfaits au mieux par de la levure autolysée ou de l'extrait de levure enrichi en amino-acides par addition de tryptone ou de peptone. L'addition de jus de tomate est aussi très favorable. Les levures se développent rapidement dans ces milieux et doivent être inhibées par des substances telles que l'actidione (cycloheximide) ou l'acide sorbique. Le diphényl prévient le développement des moisissures.

La méthode de préparation du milieu est importante. Nous avons trouvé par exemple qu'un ensemble de milieu permet une bonne croissance des bactéries tandis que le suivant ne permet qu'une faible croissance. De petites différences dans la durée et la température de stérilisation peuvent en être responsables. L'efficacité du milieu décroît aussi en fonction du temps de conservation.

CHIMIE DE LA FERMENTATION MALOLACTIQUE.

La fermentation est habituellement présentée comme une simple décarboxylation de l'acide l-malique en acide l (+) ou d (−) lactique

avec disparition du groupe carboxy sous forme de CO_2. L'acide d-malique n'est pas attaqué. L'isomère optique de l'acide lactique formé dépend de la souche du microorganisme et du substrat attaqué (20, 24). Les bactéries forment principalement de l'acide l (+) lactique à partir de l'acide l-malique, tandis que les levures forment habituellement de l'acide d (−) lactique à partir de la fermentation du sucre. Avec les bactéries qui possèdent de l'enzyme malique, l'acide malique est d'abord transformé en acide pyruvique et CO_2 en présence de coenzyme NAD ; l'acide pyruvique est immédiatement réduit en acide lactique par la LDH avec l'aide du NADH formé pendant la première réaction (réaction I) (8, 24, 26). Une transhydrogénase malolactique a été signalée pour **Micrococcus** qui transforme les acides malique et pyruvique en acides oxalacétique et lactique ; il est possible que l'acide oxalacétique soit un intermédiaire dans le cas de certaines bactéries (réaction II). Toutes les bactéries examinées par FLESH (8) possèdent à la fois l'activité enzyme malique et décarboxylase oxalacétique.

$$\underset{\text{acide l-malique}}{COOH - CH_2 - CHOH - COOH} \xrightarrow[NAD,\ Mn^{++} - 2H]{\text{enzyme malique}} \underset{\text{acide pyruvique}}{CH_3 - CO - COOH} + CO_2$$

$$\xrightarrow[NADH + 2H]{LDH} CH_3 - CHOH - COOH \qquad (I)$$

$$\underset{\text{acide l-malique}}{COOH - CH_2 - CHOH - COOH} \xrightarrow[NAD - 2H]{MDG} \underset{\text{acide oxalacétique}}{COOH - CH_2 - CO - COOH}$$

$$\xrightarrow{\beta \text{ carboxylase}} \underset{\text{acide pyruvique}}{CH_3 - CO - COOH} + CO_2 \qquad (II)$$

L'enzyme malique est induit en présence d'acide malique dans certaines bactéries tandis qu'il est présent en tant que constituant de la cellule bactérienne chez d'autres. Certaines bactéries à enzyme malique induit ne dégradent l'acide malique qu'en présence d'un taux élevé de cet acide. Cela signifie qu'en présence de ces bactéries, les vins qui ne possèdent qu'un faible taux d'acide malique ne peuvent pas subir la fermentation malolactique.

La fermentation malolactique se traduit par une réduction de 30 p. 100 de l'acidité fixe et une augmentation de 0,3 unité pH. Nous donnons plus loin des données récentes sur les variations d'acidité apportées par la fermentation malolactique dans les vins rouges australiens obtenus à

partir de raisins de différentes variétés.

La transformation de l'acide malique en acide lactique et gaz carbonique fournit peu ou pas d'énergie aux bactéries ; une autre source d'énergie est donc nécessaire ; celle-ci est habituellement constituée par un hexose ou un pentose (17). Il est donc intéressant de discuter de l'intérêt de la fermentation malolactique du point de vue des bactéries ; puisque les bactéries vivent dans un environnement acide et que la fermentation malolactique réduit l'acidité rendant le milieu plus favorable, la fermentation a probablement une valeur du point de vue survie. D'autre part, puisque les enzymes présents sont impliqués dans d'autres réactions, la fermentation malolactique peut être simplement accidentelle parce qu'il se trouve que les enzymes nécessaires sont présents.

Le diacétyle est un sous-produit important de l'activité bactérienne et peut influer sur la qualité du vin, (5, 14, 31). Les souches ont des aptitudes variées à la production du diacétyle à partir des substrats variés tels que l'acide malique, l'acide pyruvique, l'acide citrique ou le sucre. En général, les plus fortes quantités de diacétyle sont produites par les bactéries homofermentaires. L'acide pyruvique occupe une position métabolique importante. C'est un précurseur du diacétyle mais aussi de l'acétoïne et du 2,3 butylène glycol, tous ces corps se trouvent dans les vins. Nous avons montré que le taux d'acide pyruvique du vin est réduit par la fermentation malolactique (14). L'acide citrique, quand il est présent, est d'habitude décomposé totalement pendant la fermentation malolactique ; cela dépend de la bactérie mise en œuvre. Il semble qu'un enzyme citrique induit soit nécessaire, lequel existe seulement dans les bactéries qui ont un enzyme malique constitutif (8). Les bactéries qui métabolisent l'acide citrique l'utilisent comme source d'énergie et les produits du métabolisme, variables selon l'organisme impliqué, sont les acides acétique, formique, lactique, succinique, l'éthanol, le butanediol, l'acétoïne et CO_2. Cette série de sous-produits provient d'une part de la formation d'acide oxalacétique qui est ensuite décomposé par des réactions couplées de condensation et d'oxydo-réduction. Un bilan des produits de fermentation a été calculé (4, 6). La formation d'acide acétique est indésirable et certaines bactéries lactiques peuvent produire des quantités considérables d'acide acétique à partir de l'acide citrique. Il est donc peut recommandé d'utiliser l'acide citrique pour augmenter l'acidité des vins rouges secs.

DETECTION DE LA FERMENTATION MALOLACTIQUE.

La fermentation malolactique est habituellement détectée en observant l'apparition de gaz carbonique dans le vin après s'être assuré que la fermentation alcoolique est complète. Dans certaines régions d'Australie, telle qu'en Coonawarra, la fermentation malolactique peut être si vigoureuse qu'elle ressemble à une fermentation alcoolique douce. Cependant, l'expérience nous montre qu'il est rarement possible de goûter un vin dépourvu de CO_2 dissous et d'établir avec certitude qu'il a subi la fermentation malolactique. La présence de diacétyle est un bon indicateur, mais s'il est absent cela ne prouve rien. Nous avons présenté des séries de vins rouges secs à des dégustateurs entraînés qui ont été incapables de dire avec une précision statistiquement valable si les vins avaient subi ou pas la fermentation malolactique. Parfois, certains vins rouges secs dégagent une odeur spéciale pendant qu'ils subissent la fermentation malolactique, mais ils perdent habituellement ce défaut quand la fermentation est terminée. Il est probable que de tels produits volatils indésirables, se manifestant passagèrement. sont dus à une souche particulière de bactéries.

La fermentation malolactique provoque une diminution de l'acidité fixe et une élévation du pH, mais une telle évolution ne constitue pas une preuve évidente de la fermentation malolactique puisqu'elle peut être déterminée par bien d'autres facteurs. Le seul moyen sûr de mettre en évidence la fermentation malolactique est de démontrer l'absence d'acide malique ; ceci est réalisé par simple chromatographie sur papier (30). La présence d'un spot correspondant à l'acide lactique n'est pas une preuve suffisante car avec les solvants normalement utilisés les acides lactique et succinique apparaissent ensemble sur un même spot.

Il existe d'autres méthodes valables : manométrique, enzymatique, microbiologique, mais la chromatographie sur papier ou en couche mince est un procédé facile et rapide. Il est maintenant largement utilisé dans les chais australiens.

L'acide l-malique peut être en partie dégradé par des levures de vin normales **(Saccharomyces specie)** (29), mais certaines levures **Schizosaccharomyces** qui peuvent complètement décomposer l'acide l-malique en culture pure apparaissent incapables dans la pratique de se développer convenablement en présence de **Saccharomyces** en vinification.

DEVELOPPEMENTS RECENTS EN AUSTRALIE.

La fermentation malolactique est une caractéristique des vins de

table. Les vins de dessert contiennent beaucoup trop d'alcool pour permettre une croissance bactérienne, exception faite des bactéries de maladies **(Lactobacillus trichodes)** qui attaquent le sucre mais habituellement pas l'acide malique. En ce qui concerne les vins de table la fermentation est plus fréquente dans les vins rouges que dans les vins blancs ; ceci est dû aux plus faibles teneurs en SO_2 et à l'acidité plus faible des vins rouges secs. L'importance de la fermentation malolactique a été étudiée en détail dans les vins de table australiens à deux reprises (9, 32). Les résultats de ces deux études qui portent respectivement sur 291 et 466 vins montrent qu'environ les deux tiers des vins rouges secs et le tiers des vins blancs secs subissent la fermentation malolactique dans les premiers six mois.

Les bactéries sont des **Leuconostoc** (92 p. 100 des vins), des **Lactobacillus** (55 p. 100), des **coques** (11 p. 100) (tableau I). **Leuconostoc**

TABLEAU I

Répartition de différentes souches de bactéries dans 466 vins rouges secs australiens (provenant de la vendange 1968 et âgés de 6 mois).

Bactéries	Nombre de vins	Pour cent
Nil	16	3
Leuconostoc	178	38
Lactobacillus	19	4
Coccus	2	<1
Leuconostoc + Lactobacillus	202	43
Leuconostoc + Coccus	12	3
Lactobacillus + Coccus	0	0
Leuconostoc + Lactobacillus + Coccus	37	8
TOTAL	466	100

et **lactobacilles** se trouvent dans 43 p. cent des vins. La fermentation malolactique coïncide assez bien avec la présence de **Leuconostoc** et de **coques** dans les vins, mais moins avec celle des **lactobacilles.** Ces bactéries n'ont pas été classées au-delà du genre, mais une bactérie souvent responsable de fermentation malolactique a été identifiée comme une souche de **Leuconostoc mesenteroides** hétérofermentaires (12). Les souches de **Lactobacilles** ne résistent pas à un pH bas, comme celles de **Leuconostoc** et

ne se développent généralement pas dans les vins au-dessous de pH 3,6. Les vins exercent également un effet sélectif sur la microflore bactérienne. Nous avons rencontré la fermentation malolactique due à un **Leuconostoc** dans des vins d'un pH inférieur à 3,4. En milieu synthétique, ils fermentent l'acide malique à des pH encore plus bas.

Une découverte importante est celle de l'incidence sur la fermentation malolactique de la façon dont le vin a été obtenu (tableau II). Dans

TABLEAU II

Relation entre la région, la cave et le déclenchement de la fermentation malolactique.

Région	Cave	Nbre de vins	Fermentation malolactique		Pourcentage de déclenchement
			Pas de déclenchement	Déclenchement	
BARROSA (Australie du Sud)	A	13	10	3	23
—	B	16	4	12	75
—	C	14	7	7	50
GALLES du SUD (Australie du Sud)	D	23	2	21	91
—	E	11	10	1	9
—	F	19	0	19	100
Région irriguée de MURRUMBIDGEE (Nouvelles Galles du Sud)	G	8	8	0	0
	H	8	1	7	88

la même région viticole le pourcentage des vins rouges secs qui ont subi la fermentation malolactique varie de 9 à 100 p. 100 selon la fabrication Ceci reflète l'influence des pratiques de vinification de chaque vinificateur et est lié au type de bactéries présentes, à la teneur en SO_2, à la durée de cuvaison ainsi qu'à d'autres facteurs. Dans quelques chais, la fermentation malolactique se produit tout de suite après la fin de la fermentation alcoolique, tandis que dans des chais voisins elle est retardée de quelques mois, dans certains cas de quelques années.

La fermentation malolactique diminue l'acidité du vin d'une manière importante mais qui dépend de la variété du raisin, laquelle à son tour reflète la teneur en acide malique du vin. Les résultats relatifs à des vins obtenus à partir de trois cépages différents de raisin sont donnés dans le tableau III.

TABLEAU III

Relation entre le déclenchement de la fermentation malolactique, le pH et l'acidité de titration dans des vins rouges secs australiens provenant de trois cépages différents (vendange 1968).

Cépages	pH			Acidité de titration (g d'acide tartrique par l.)		
	Pas de fermentation malolactique	Fermentation malolactique	Signification de la différence (p. 100)	Pas de fermentation malolactique	Fermentation malolactique	Signification de la différence (p. 100)
Chiraz	3,78 (64)	3,88 (109)	> 95	5,66 (64)	4,91 (109)	> 99
Grenache	3,60 (19)	3,78 (53)	non significative	5,51 (19)	4,75 (53)	> 99
Cabernet-Sauvignon	3,64 (14)	3,94 (30)	> 99	6,46 (14)	4,70 (30)	> 99

Les nombres entre parenthèses représentent le nombre de vins relatifs à chaque groupe.

Les bactéries de la fermentation malolactique ont été trouvées sur les raisins et les feuilles de vigne aussi bien que dans les chais. (33).

L'habitude dans quelques chais de répandre le marc et les lies dans le vignoble proche pourrait conduire à une survie des bactéries dans et autour du chai, de la même manière que certaines souches de levures s'établissent dans des vignobles.

Une autre découverte importante est la présence de diacétyle dans les vins rouges secs (31). Les concentrations pour 466 vins varient de 0 à 7,5 mg par l. et la moyenne pour les vins qui ont subi la fermentation malolactique se situe à 2,8 mg par l., tandis qu'elle est de 1,3 mg par l. pour les autres. La concentration en diacétyle a une influence certaine sur la qualité et le diacétyle ajouté est décelé statistiquement par dégustation à des concentrations aussi faibles que 1 mg par l. Puisque la production de diacétyle est fortement influencée par la souche de bactérie présente, la teneur en cette substance dépend non seulement de la fermentation malolactique mais aussi de la bactérie qui en est responsable. Le tableau IV montre les relations entre la fermentation malolactique, la formation de diacétyle et le cépage.

TABLEAU IV

Relation entre le déclenchement de la fermentation malolactique et la teneur en diacétyle dans 289 vins rouges secs australiens provenant de trois cépages différents (vendange 1968).

Cépage	Pas de fermentation malolactique	Fermentation Malolactique	Signification de la différence (p. 100)
Chiraz	1,5 (64)	3,1 (109)	> 99
Grenache	0,9 (19)	1,3 (53)	non significative
Cabernet - Sauvignon	1,2 (14)	3,6 (30)	> 95

Les nombres entre parenthèses représentent le nombre de vins relatifs à chaque groupe.

La teneur en diacétyle est exprimée en mg par l.

INDUCTION DE LA FERMENTATION MALOLACTIQUE.

La recherche de la fermentation malolactique dans les vins rouges secs australiens est d'un développement récent et parallèle au travail des autres régions (7, 18, 19, 23, 27). Les études pendant ces quatre dernières années dans les chais commerciaux avec une souche de **Leuconostoc mesenteroides** sélectionnée (12) ont montré la possibilité d'un ensemencement bactérien. On a ensemencé ainsi environ 300.000 gallons de vins rouges secs.

Si nous comparons avec l'obtention de la fermentation alcoolique par ensemencement avec des levures, l'induction de la fermentation malolactique avec une culture pure de bactérie sélectionnée est considérablement plus difficile. Les bactéries doivent être cultivées avec soin puisqu'elles peuvent être contaminées par des levures, des moisissures ou d'autres bactéries. Nous avons obtenu les meilleurs résultats avec des ensemencements effectués pendant les dernières étapes de la fermentation alcoolique au moment où le SO_2 libre a disparu et avant que la teneur en alcool ne devienne trop élevée ; c'est généralement le cas 24 à 36 heures après le début de la fermentation avec une concentration de 3 millions de cellules par ml. L'ensemencement à la fin de la fermentation alcoolique comme l'ont suggéré les chercheurs bordelais (19) s'est montré moins efficace que le procédé décrit précédemment. Les chercheurs californiens utilisant deux souches de bactéries lactiques ont montré que, dans leurs conditions de travail, le moment de l'addition bactérienne n'a pas une grande influence. L'induction de la fermentation malolactique avec différentes souches bactériennes apporte quelques petites différences dans la composition des vins (25).

Nous avons éprouvé des difficultés pour garder moitié du moût ensemencé, moitié de moût servant de témoin. Les résultats montrent que très souvent le témoin est involontairement ensemencé au contact des pompes et autres équipements qui servent à manipuler le moût. Dans certains cas, si la fermentation ne s'est pas déclenchée rapidement cela est dû à ce que l'addition de bactéries n'a pas été effectuée au moment favorable.

Tous les vins rouges secs ne subissent pas la fermentation malolactique. Tandis qu'il est certain qu'aucun vin sec rouge n'est biologiquement stable tant que l'acide malique n'a pas été transformé, quelques vins d'acidité faible verront leur qualité diminuer par cette perte d'acidité. D'une manière générale les vins de pH supérieur à 3,8 n'ont rien à gagner à subir la fermentation malolactique, à moins qu'on ne compense cette

perte d'acidité par addition d'un acide non fermentescible comme l'acide tartrique.

Plusieurs procédés peuvent être adoptés par les vinificateurs qui ne désirent pas provoquer la fermentation malolactique dans leurs vins. On peut ajouter SO_2 qui inhibe mais ne tue pas complètement les bactéries (10). Le vin peut être stérilisé par filtration et mis à l'abri de la réinfection. Il peut aussi être stérilisé mais c'est peu recommandable. L'addition d'antiseptique, acide sorbique et pyrocarbonate d'éthyle est relativement inefficace contre les bactéries.

L'inhibition de la croissance des bactéries malolactiques dans les vins par certaines levures peut se produire (13) et de récents résultats australiens montrent que cette inhibition peut avoir une influence pratique. BOIDRON (2) a récemment fait des études détaillées sur ce sujet.

L'expérience de l'ensemencement bactérien et de ses difficultés et la connaissance que nous avons de l'incidence de la fermentation malolactique sur les vins australiens, nous permet de dire que actuellement, la généralisation de l'ensemencement bactérien à l'échelle commerciale ne se justifie pas. Ce point de vue repose sur le fait que les deux tiers environ des vins rouges secs australiens subissent la fermentation malolactique dans les six premiers mois et sur le fait que le prix de l'équipement spécialisé nécessaire à la préparation de concentrés bactériens est très élevé.

En Australie la dégradation du tartrate par les bactéries lactiques est très rare. Bien que nous l'ayons cherché pendant de nombreuses années nous n'avons observé le phénomène que dans quelques vins rouges secs en 1968. Ces vins avaient tous des pH voisins de 4. Cette dégradation biologique du tartrate ne doit pas être confondue avec la précipitation de bitartrate de potassium (diminuant ainsi la concentration en tartrate du vin) qui survient parfois au cours de la fermentation malolactique et qui provient de l'évolution de l'acidité apportée par cette fermentation.

REMERCIEMENTS.

C'est un plaisir et un honneur d'apporter cet article à l'Institut d'Œnologie de l'Université de BORDEAUX où ont été menés des travaux importants et fondamentaux sur la fermentation malolactique. L'auteur remercie aussi le regretté J.C. M. FORNACHON pour l'aide et l'inspiration qu'il a trouvé auprès de lui.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) ADAMS A.M., 1964. Malo-lactic fermentations in Ontario wines. **Ann. Rept. Nort. Exp. Stat. prod. lab., Vineland, Ontario,** 108-116.

(2) BOIDRON A.M., 1969. Etude de l'antagonisme entre les levures et les bactéries lactiques du vin. **Conn. Vigne Vin, 3,** 315-378.

(3) CARR J.G., 1957. Occurence and activity of some lactic acid bacteria from apple juices, ciders and perries. **J. Inst. Brew., 63**, 436-440.

(4) CHARPENTIÉ Y., RIBÉREAU-GAYON J. et PEYNAUD E., 1951. Sur la fermentation de l'acide citrique par les bactéries malolactiques. **Bull. Soc. Chim. Biol., 33,** 1369-1378.

(5) DITTRICH H.H. and KERNER E., 1964. Diacetyl als Weinfehler. Ursache und Beseitigung des " Milchsäuretones ". **Wein-Wiss., 19**, 528-535.

(6) DU PLESSIS L. de W., 1964. The microbiology of South African wine-making VII. Degredation of citric acid and l-malic acid by lactic bacteria from dry wines. **S. Afr. J. Agric. Sci., 7,** 31-42.

(7) FELL G. 1961. Etude sur la fermentation malolactique du vin et les possibilités de la provoquer par ensemencement. **Landwirtsch, Jahrb. Schweiz., 75,** 249-264.

(8) FLESCH P., 1968. Morphologie, Stoffwechselphysiologie und Charakterisierung der Malic-Enzym - Aktivitat L-Apfelsäure - abbauender Bakterien. **Archiv. Mikrobiol., 60,** 285-302.

(9) FORNACHON J.C.M., 1957. The occurence of malo-lactic fermentation in Australian wines. **Aust. J. Appl. Sci., 8,** 120-129.

(10) FORNACHON J.C.M., 1963. Inhibition of certain lactic acid bactéria by free and bound sulphur dioxide. **J. Sci. Food Agric. 14**, 857-862.

(11) FORNACHON J.C.M., 1963. Travaux récents sur la fermentation malo-lactique. **Ann. Technol. Agr., 12,** hors-série 1, 45-56.

(12) FORNACHON J.C.M., 1964. A Leuconostoc causing malo-lactic fermentation in Australian wines. **Amer. J. Enol. Vitic. 15,** 184-186.

(13) FORNACHON J.C.M., 1968. Influence of different yeasts on the growth of lactic acid bacteria in wine. **J. Sci. Food. Agric., 19.** 624-627.

(14) FORNACHON J.C.M. and LLOYD B., 1965. Bacterial production of diacetyl and acetoin in wine. **J. Sci. Food. Agric., 16,** 710-716.

(15) INGRAHAM J.L. and COOKE G.M., 1960. A survey of the incidnece of malo-lactic fermentation in California table wines. **Amer. J. Enol. Vitic., 11,** 160-163.

(16) INGRAHAM J.L., VAUGHN R.H. and COOKE G.M., 1960. Studies on the malo-lactic organisme isolated from California wines. **Amer. J. Enol. Vitic., 11,** 1-4.

(17) KUNKEE R.E., 1967. Malo-lactic fermentation. **Adv. in Appl. Microbiol., 9,** 235-279.

(18) KUNKEE R.E., OUGH C.S. and AMERINE M.A., 1964. Induction of malo-lactic fermentation by inoculation of must and wine with bacteria. **Amer. J. Enol. Vitic., 15**, 178-183; 1967, **18,** 71-77.

(19) LAFON-LAFOURCADE S., DOMERCQ S. and PEYNAUD E., 1968. Etude de l'ensemencement des vins par les bactéries de la fermentation malolactique. **Conn. Vigne Vin,** 83-97.

(20) LAFON-LAFOURCADE S. et PEYNAUD E., 1970. L'acide l (+) lactique, comme témoin de la présence des bactéries lactiques en vinification. **Ind. Alim. Agric., 87**, 133-138.

(21) LAMBION R. and MESKHI A., 1957. Les bactéries de la fermentation malolactique. **Rev. Ferm. Ind. Alim.,** Bruxelles, **12,** 131-144.

(22) LUTHI H., 1957. La rétrogradation malolactique dans les vins et les cidres. **Rev. Fer. Ind. Alim., 12,** 15-21.

(23) PEYNAUD E. and DOMERCQ S., 1959. Possibilité de provoquer la fermentation malolactique en vinification à l'aide de bactéries cultivées, **C.R. Acad. Agric.,** France, **45, 355-358;** also **Ann. Tech. Agric.** . . . .

(24) PEYNAUD E., LAFON-LAFOURCADE S. and GUIMBERTEAU G., 1968. Uber den Mechanismus der Apfelsäure - Milchsäure - Garung. **Mitt. Rebe und Wein Klosterneuberg, 18**, 343-348.

(25) PILONE G.J., KUNKEE R.E. and WEBB A.D., 1966. Chemical characterisation of wines fermented with various malo-lactic bacteria. **Appl. Microbiol., 14,** 608-615.

(26) RADLER F., 1962-1963. Uber die Milchäurebakterien des Weines und den biologischen Säureabbau. **Vitis, 3,** 144-172; 207-236; **Vitis, 4,** 62-72; **Conn. Vigne Vin,** 1967, **1,** 73-91.

(27) RADLER F., 1966. Die Mokrobiologischen Grundlagen des Säureabbaus im Wein. **Zentralbl. Bakt. Parasit. Infek. u. Hyg., 120,** 237-287.

(29) RANKINE B.C., 1966. Decomposition of l-malic acid by wine yeasts. **J. Sci. Food Agric., 17,** 312-316.

(30) RANKINE B.C., 1969. Detection of malo-lactic fermentation in wine by paper chromatography. **Aust. Wine. BreK. Spirit Rev., 88,** (3), 46-52.

(31) RANKINE B.C., FORNACHON J.C.M. and BRIDSON D.A., 1969. Diacetyl in Australian dry red wines and its significance in wine quality. **Vitis, 8,** 129-134.

(32) RANKINE B.C., FORNACHON J.C.M., BRIDSON D.A. and CELLIER K.M., 1970. Malo-lactic fermentation in Australian dry red wines. **J. Sci. Food Agric.** (in press).

(33) RIBÉREAU-GAYON J. and PEYNAUD E., Traité d'Œnologie. Béranger-Dunod éd., Tome I, 1960; Tome II, 1961.

(34) RICE A.C., 1965. The malo-lactic fermentation in New-York State Wines. **Amer. J. Enol. Vitic., 16,** 62-68.

(35) VARIOUS AUTHORS, 1964. Méthodes d'isolement, de culture et de classification des bactéries malolactiques. **Bull. O.I.V. 37,** 35-42; 249-256, 374-384, 824-829, 908-922, 1048-1063, 1175-1181, 1273-1288.

(36) VAUGHN R.H., 1955. Bacterial spoilage of wines with spécial reference to Californian conditions. **Adv. Food Rés., 6,** 67-108.

(37) WHITING G.C. and COGGINS R.A., 1964. Metabolism of malate and citrate by lactic acid bacteria. **Rept. Agric. Hort. Res. Sta. Bristol** for 1963, 157-167.