LES SOUTIRAGES SONT DES ÉTAPES CLEFS DE LA STABILISATION MICROBIOLOGIQUE DES VINS

RACKING ARE KEY STAGES FOR THE MICROBIAL STABILIZATION OF WINES

V. RENOUF et Aline LONVAUD-FUNEL*

Laboratoire de Microbiologie et de Biotechnologie Appliquée
Faculté d'œnologie, 351 cours de la libération, 33405 Talence, France

Résumé : L'objectif de cette étude est d'interpréter certains effets, sur les micro-organismes, des soutirages lors de l'élevage en barriques. Selon la nature des micro-organismes, ces effets diffèrent. Les bactéries sont stimulées par l'apport d'oxygène et leur population augmente. Les levures sont concentrées au fond de la barrique et leur population diminue, car elles sont éliminées avec les lies lors de l'opération. Parmi ces levures, *Brettanomyces bruxellensis* domine et peut produire des phénols volatils. Son maintien dans la barrique peut engendrer une altération du vin. L'importance de soutirages réguliers est évidente. Les risques de l'élevage sur lies et du batonnage sont soulignés.

Abstract : This study aims to understand the effect on micro-organism of racking when the wine is aged in barrels. According to the kind of micro-organism, the effects are different. Bacteria are stimulated by oxygen and their population increases. Yeasts are concentrated to the bottom of the barrel. Between two successive racking a yeast population gradient was established. Yeast cells which are larger and heavier than bacteria cells and they are deposited on the barrel bottom with other wine micro-particles. In some cases, the yeast population at the bottom was more than thousand times than at the wine surface. Moreover, the species identified at different heights in the barrel were different. *Saccharomyces cerevisiae* was the main yeast detected at the surface, whereas *Brettanomyces bruxellensis* was the main yeast lees. After racking yeast population decreases because they are eliminated with the lees during the operation. Among them, *Brettanomyces bruxellensis* was the majority. Since they are able to produce volatile phenols, their preservation in the barrel can lead to the alteration of the wine. Indeed, the ability of the lees to produce volatile phenols was clearly established. The importance of regular racking for microbial wine stabilization is evident. The risks of «sur lies» wine aging and sticking's operations are underlined.

Mots clés : Soutirage, lies, levures, phénols volatils

Key words : Racking, lies, yeast, volatile phenols

INTRODUCTION

Les levures et les bactéries sont les acteurs de l'élaboration des vins rouges. Naturellement présentes sur le raisin (MORTIMER et POLSINELLI, 1999) et entretenues dans les chais et les matériels vinicoles (MARTINI, 1993), les levures assurent la transformation des sucres fermentescibles (glucose et fructose) en alcool lors de la fermentation alcoolique, tandis que les bactéries lactiques dégradent l'acide malique en l'acide lactique pendant la fermentation malolactique. De multiples métabolismes, pendant les fermentations, forment des arômes qui participent aux qualités du vin (FLEET, 2003). Une fois les fermentations achevées, le vinificateur s'efforce de réduire les populations des différentes espèces de levures et de bactéries (MILLET et LONVAUD-FUNEL, 1999) afin d'éviter d'éventuels accidents liés à des activités microbiennes (DIAS *et al.*, 2003 ; LOUREIRO et MALFEITO-FERREIRA, 2003). L'un des plus redouté est la production de phénols volatils par les levures de l'espèce *Brettanomyces bruxellensis* (HERESZTYN, 1986).

Après la vinification, l'élevage du vin en barriques est un épisode conséquent de la stabilisation microbiologique du vin (LONVAUD-FUNEL, 2001). Les soutirages sont des étapes essentielles. Ils sont l'occasion pour le vinificateur d'apprécier l'évolution du vin, de réaliser des assemblages, d'apporter au vin une aération essentielle à son évolution, généralement de réajuster la teneur en dioxyde de soufre, et d'éliminer l'excès de CO_2. Toutefois le rôle fondamental des soutirages est de séparer le vin de la lie, ensemble des particules colloïdales qui sédimentent et se déposent au fond de la cuve ou de la barrique.

*Corresponding author: aline.lonvaud@oenologie.u-bordeaux2.fr

J. Int. Sci. Vigne Vin, 2004, **38**, n°4-219-224
©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

Parce qu'ils impliquent la manipulation et l'aération du vin, les soutirages se répercutent sur les populations microbiennes présentes dans le vin (MILLET, 2001). La séparation physique du vin et des lies participe fortement à l'impact des soutirages sur la flore microbienne. L'association de méthodes de microbiologie classique (isolement et dénombrement des populations microbiennes sur milieux gélosés sélectifs, observation de la microflore viable par épifluorescence) et de techniques d'identification des micro-organismes par biologie moléculaire permet d'estimer quantitativement et qualitativement la microflore présente dans le vin à chaque étape de son élaboration.

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'impact des soutirages sur les populations microbiennes présentes dans les vins élevés en barriques et d'étudier la microflore présente dans les lies.

MATÉRIEL ET METHODES

I. PRÉLÈVEMENTS

Ces travaux ont été conduits dans plusieurs châteaux bordelais répartis sur l'ensemble du vignoble : Médoc, Graves et Libournais sur des lots issus de différents cépages : Merlot, Cabernet-Sauvignon et Cabernet-franc. Pour chaque lot, un échantillon de trois barriques est choisi afin d'évaluer la flore microbienne résiduelle présente dans les vins. Avant chaque soutirage des prélèvements sont réalisés à plusieurs profondeurs de la barrique : juste au niveau de la bonde, à environ 20 cm du sommet (prélèvement classique à hauteur de pipette), au milieu de la barrique et au fond de celle-ci. Après soutirage, les lies sont récupérées stérilement, analysées et comparées aux vins correspondants.

II. ISOLEMENT, DÉNOMBREMENT, OBSERVATION ET IDENTIFICATION DES MICROORGANISMES

Les levures sont cultivées sur milieu YPG : 20 % (p/v) de glucose, 10 % (p/v) de peptone, 10 % (p/v) d'extrait de levures gélosé (Agar 25 % p/v), complémenté en biphényl (0.015 % p/v) et chloramphénicol (0.010 % p/v) permettant d'inhiber respectivement la croissance des champignons et des bactéries. La distinction entre les levures totales (LT) et les levures non-*Saccharomyces* (NS) est réalisée en inhibant la croissance des levures du genre *Saccharomyces* par l'ajout de cycloheximide (0,01 % p/v). Les boites de Petri sont incubées à 25 °C pendant 3 jours (levures totales) et 10 jours (levures non-*Saccharomyces*). Les bactéries lactiques (BL) sont cultivées sur un milieu gélosé à base de jus de raisin contenant par litre (pH 4.8) : 500 mLde jus de raisin commercial, 5 g d'extrait de levures, 1 mL de Tween 80 et de la pimaricine (0.01% p/v) afin d'inhiber le développement des moisissures. Les boîtes de Petri sont incubées en atmosphère CO_2+N_2 (avec incubateur) à 25 °C pendant 10 jours. Les bactéries acétiques (BA) sont cultivées sur le même milieu gélosé à base de jus de raisin additionné de pimaricine (0.01 % p/v) et de pénicilline (0.001 % p/v) en aérobiose pendant 3 jours. 100 µL de chaque échantillon de vin et plusieurs dilutions décimales successives sont étalés sur les différents milieux gélosés. L'ensemencement des dilutions sur boîte de Petri s'effectue par un étalement homogène en surface avec des micro-billes stériles. Les résultats des dénombrements sont exprimés en Unité Formant des Colonies par ml (UFC.mL^{-1}).

L'observation des échantillons en microscopie par épifluorescence, selon le protocole décrit par MILLET et LONVAUD-FUNEL (2000), permet de caractériser la viabilité des cellules présentes dans les vins.

L'identification des levures est réalisée, pour chaque boîte de dénombrement LT, sur un échantillon de 10 colonies. L'identification des levures est basée sur l'analyse RFLP des régions ITS (Internal Transcribed Spacer) du gène de l'ARN 5.8S (GUILLAMON *et al.*, 1998; ESTEVE-ZARZOSO *et al.*, 1999) après PCR effectuées directement sur les colonies. La PCR permet l'amplification d'une région du gène de l'ARN 5.8S comprise entre ITS1 et ITS2 qui présente une forte variabilité selon les espèces. La taille du produit PCR et l'analyse de son profil de restriction obtenu par CfoI, HinfI et HaeIII permettent une identification rapide et spécifique de la colonie testée (tableau I).

Les tests statistiques permettant de déterminer les effets significatifs de la profondeur de prélèvement sur les populations microbiennes ont été réalisés à partir du logiciel *Sigmastat 3.1* (Test Anova one way). La probabilité, p, donnée représente la probabilité pour que le facteur étudié n'ait pas d'influence sur les valeurs testées. En deçà de p=0.005, on admet que le facteur a un effet significatif sur les populations dénombrées.

III. TEST DE L'ACTIVITÉ DE PRODUCTION DES PHÉNOLS VOLATILS

Des échantillons de vin sont additionnés d'acide coumarique (100 mg.L^{-1}) et d'acide férulique (40 mg.L^{-1}) qui sont les deux principaux substrats métabolisés par les levures *Brettanomyces bruxellensis* pour la production de 4-éthylphénol et de 4-éthylgaïacol (DIAS *et al.*, 2003), puis filtrés stérilement (filtre de 0,45 µm). Dans deux bouteilles, le vin (580 mL) est additionné de lies (30 mL) dont la présence de levures *Brettanomyces* a été confirmée par PCR (IBEAS *et al*., 1996) et le nombre de levures non-*Saccharomyces* estimé par dénombrement sur boîte (10^4 UFC.mL^{-1}). Une des bouteilles est laissée au repos, tandis que l'autre est agitée régulièrement à l'aide d'un barreau aimanté pour mettre les lies en suspension (une

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

fois par semaine). Après deux mois de culture à 25 °C, le 4-éthylphénol et le 4-éthylgaïacol sont extraits au dichlorométhane puis dosés par chromatographie en phase gazeuse (CHATONNET ET BOIDRON, 1988) et comparé à leurs concentrations dans le vin témoin.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I. EFFET DU SOUTIRAGE SUR LES DIFFERENTES POPULATIONS MICROBIENNES

Comme le montre la figure 1, le soutirage de barrique à barrique provoque une augmentation de la concentration en bactéries lactiques : la population de 2.10^5 UFC.mL^{-1} avant l'opération est multipliée d'un facteur 10 après le soutirage. Ce phénomène est toujours observé lors des soutirages. Il en est de même pour les bactéries acétiques (7.10^3 UFC.mL^{-1} avant soutirage et 2.10^4 UFC.mL^{-1} après soutirage). Cette augmentation des populations bactériennes, malgré le réajustement de la teneur en SO2 libre à 35 mg.L^{-1}, s'explique par le fait que le soutirage entraîne une manipulation et une oxygénation du vin (VIVAS et GLORIES, 1993). Les différentes espèces bactériennes utilisent cet apport d'oxygène pour reprendre, mais seulement de façon transitoire, un métabolisme de croissance : avant le soutirage les populations de bactéries chutaient et, après la brève stimulation consécutive au soutirage, elles reprennent leur diminution.

Par contre, l'impact du soutirage est différent sur les levures résiduelles. La population de levures totales chute de 10^3 UFC.mL^{-1} avant soutirage à 5.10^1 UFC.mL^{-1} après soutirage. Cet impact du soutirage sur la population en levures peut ne pas s'expliquer uniquement par l'action inhibitrice du SO_2. En effet, le soutirage correspond à la séparation physique du vin et de l'ensemble des résidus solides qui se sont déposés au fond de la barrique. Les levures sont des organismes plus volumineux et plus lourds que les bactéries, et lorsque le vin est au repos dans la barrique les levures sédimentent comme l'ensemble des particules colloïdales inertes que l'on retrouve dans la lie. Le soutirage permet donc de soustraire les levures sédimentées, ce qui provoque la chute brutale de la population.

II. EXISTENCE D'UN GRADIENT DE LA CONCENTRATION EN LEVURES DANS LES BARRIQUES

La sédimentation des levures au sein de la barrique, lorsque le vin est au repos (entre deux soutirages), a été évaluée en réalisant des prélèvements de vin à différentes profondeurs dans quinze barriques bondes (silicone et verre) dessus. La figure 2 illustre l'existence d'un véritable gradient de concentration des levures au sein des barriques bonde dessus avant la première opération de soutirage : la population peut atteindre au fond de la barrique plus de 10^4 UFC.mL^{-1}, tandis que la population

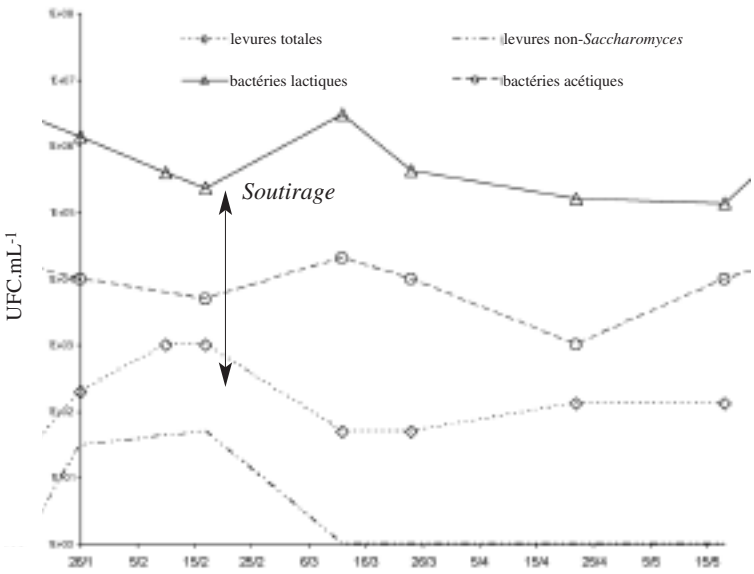

Fig.1 - Effet du soutirage : Évolution des différentes populations microbiennes depuis la fin de fermentation malolactique

Racking's effect: Evolution of the different microbial population after malolactic fermentation

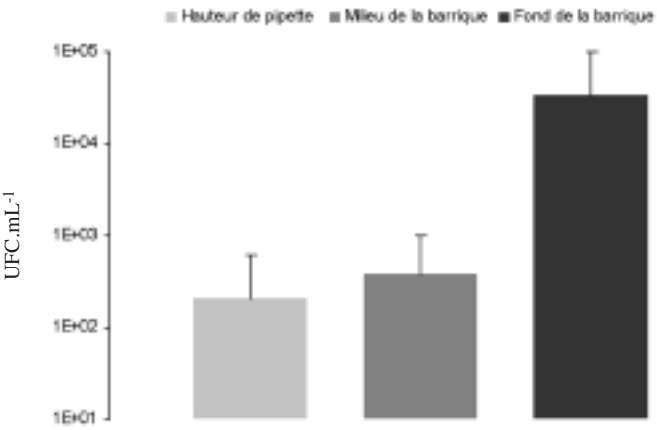

Fig.2 - Effet de la profondeur sur la population en levures totales avant soutirage

Depth's effect on total yeast population before racking

au sommet de la barrique est inférieure à 1 UFC.mL^{-1}. Bien que les niveaux de populations soient très variables de barrique à barrique (tableau II), le traitement statistique (comparaison surface / milieu de des barriques : $p = 0.025$, comparaison surface / fond des barriques : $p = 0.001$, comparaison milieu / fond des barriques : $p = 0.004$) de ces données met bien en évidence l'incidence de la profondeur de prélèvement sur la concentration en levures.

Le gradient de concentration des levures semble s'établir progressivement entre deux opérations de soutirages

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

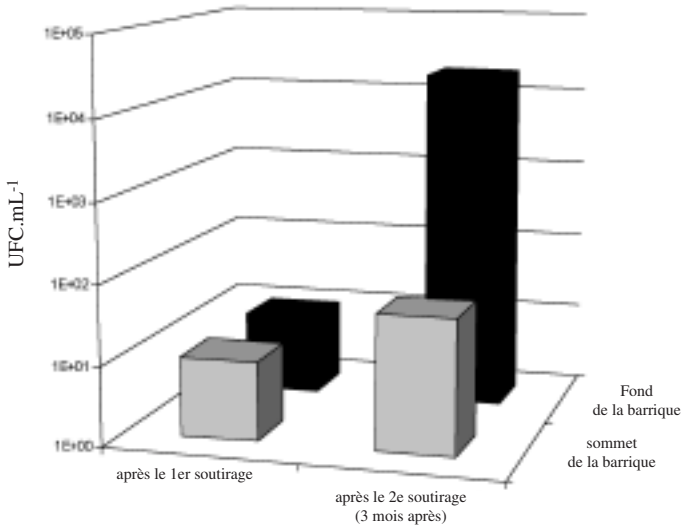

Fig. 3 - Evolution de la concentration en levures entre le premier soutirage et le second soutirage

Movement of yeast's concentration between the first and the second racking

(figure 3). Entre les soutirages, les levures sédimentent et se déposent au fond de la barrique. Entre les deux prélèvements, la population totale de levures augmente, surtout au fond de la barrique mis également au sommet. Cela signifie que dans la masse du vin, et plus particulièrement au fond, elles ont trouvé les conditions idéales à leur croissance. Le soutirage suivant permet ensuite de les éliminer.

III. NATURE DES LEVURES DANS LES LIES

Après le premier soutirage de barriques à barriques, les concentrations en levures non-*Saccharomyces* sont relativement faibles dans les vins étudiés, tandis qu'elles peuvent atteindre des valeurs très importantes (plus de 10^5 UFC.mL^{-1}) dans les lies correspondantes. L'observation des échantillons observés en épifluorescence a permis de confirmer ces différences. D'autre part, l'intensité de fluorescence émise par les levures dans les lies est inégale, ce qui suggère des disparités dans l'état de viabilité et l'activité des levures non-*Saccharomyces* présentes dans les lies. Par ailleurs, 200 colonies isolées sur les boîtes de levures totales ont été identifiées par PCR-RFLP afin d'évaluer les espèces majoritaires. Dans les lies étudiées, l'espèce majoritaire est *Brettanomyces bruxellensis*, qui représente 72 % des colonies isolées, tandis que l'espèce *Saccharomyces cerevisiae* représente seulement 12 % des colonies. Parmi les autres espèces identifiées, on note la présence de levures de l'espèce *Zygosaccharomyces baïli* (8 %) connue pour sa forte résistance au SO_2 et que l'on retrouve généralement dans des problèmes de refermentation. Les autres levures identifiées appartiennent aux genres *Candida* et *Hanseniaspora*. Ces proportions diffèrent radicalement de la répartition des espèces identifiées à la surface de la barrique au niveau de la bonde, où l'espèce majoritaire est *Saccharomyces cerevisiae* (84 %). L'espèce *Brettanomyces bruxellensis* ne représente, à cette hauteur, que 12 % des colonies testées, soit une proportion six fois moins importante qu'au fond de la barrique.

Aux différents niveaux de la barrique, la population de levures résiduelles change ainsi à la fois d'un point de vue quantitatif et qualitatif. Les levures du genre *Saccharomyces* semblent prédominer au niveau de la bonde dans un environnement plutôt oxydatif, alors qu'à l'inverse les propriétés physico-chimiques caractéristiques des lies (FORNAIRON-BONNEFOND *et al.*, 2002) semblent plus favorables au développement des levures *Brettanomyces bruxellensis*.

IV. PRODUCTION DE PHÉNOLS VOLATILS DANS LES LIES

La faculté des levures *Brettanomyces bruxellensis* à produire des phénols volatils a été testée en ensemençant un vin avec des lies présentant une forte quantité de *Brettanomyces*. Deux modalités (avec ou sans remise en suspension régulière des lies) ont été comparées au vin témoin non ensemencé (tableau III).

Table I - Taille en pb des produits PCR et des fragments de restriction des espèces de levures identifiées dans le vin et dans les lies

Size in bp of PCR products and restriction fragments of identified yeast species on wine and lees.

		Taille des produits PCR (pb)		
	Taille des fragments de restriction (pb)	CfoI	HaeIII	HinfI
Brettanomyces bruxellensis	490	250+150+90	390+90	270+220
Candida cantarelli	700	310+310+80	440+180+80	360+170+170
Candida stellata	470	220+110+80+60	470	240+230
Hanseniaspora uvarum	750	330+320+100	750	350+210+190
Saccharomyces cerevisiae	850	390+380	320+230+170+130	380+160
Zygosaccharomyces baïli	790	320+270+100+100	700+90	340+230+160+60

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

Table II - Dénombrement des levures totales avant soutirage à différentes hauteurs sur quinze barriques (UFC.mL^{-1})

Numeration of total yeast at different height before racking on fifteen barrels (CFU.mL^{-1})

	Prélèvement classique	Milieu de la barrique	Fond de la barrique
barrique 1	3.10^2	5.10^2	2.10^3
barrique 2	1.10^1	1.10^2	2.10^2
barrique 3	2.10^1	1.10^2	1.10^2
barrique 4	1.10^2	1.10^2	$1.1.10^3$
barrique 5	1.10^1	1.10^2	2.10^2
barrique 6	1.10^1	1.10^1	1.10^2
barrique 7	2.10^1	1.10^2	1.10^3
barrique 8	<1	1.10^1	1.10^2
barrique 9	1.10^1	1.10^2	1.10^2
barrique 10	1.10^2	1.10^2	$2.2.10^5$
barrique 11	<1	$1.8.10^3$	3.10^3
barrique 12	<1	1.10^2	$3.5.10^4$
barrique 13	$1.2.10^3$	2.10^3	1.10^5
barrique 14	1.10^3	1.10^2	$1.3.10^5$
barrique 15	2.10^2	5.10^2	1.10^5
moyenne	2.10^2	$3.8.10^2$	$3.4.10^4$
écart-type	4.10^2	$6.3.10^2$	$6.5.10^4$

Table III - Dosage des phénols volatils

Measurement of volatile phenols

	Vin témoin	Vin+lies sans agitation	Vin+lies avec agitation
4-Éthylphénol	67 ± 3 µg.L^{-1}	5060 ± 150 µg.L^{-1}	5800 ± 700 µg.L^{-1}
4-Éthygaïacol	15 ± 2 µg.L^{-1}	890 ± 15 µg.L^{-1}	1020 ± 10 µg.L^{-1}

La production des phénols volatils est importante dans les vins additionnés de lies. Il est à souligner que cette production est effective à la fois en conditions statique et agitée. L'agitation n'a pas d'effet notable sur les quantités de 4-éthylphénol et 4-éthylgaïacol produites, ce qui suggère que la remise en suspension des levures des lies n'est pas nécessaire pour la production de phénols volatils. Pendant l'élevage en barriques, l'espèce *Brettanomyces bruxellensis* majoritairement détectée dans les lies peut éventuellement produire des phénols volatils et engendrer une altération du vin, même si les lies ne sont pas remises en suspension dans le vin, comme lors du batonnage des lies.

CONCLUSION

Lors de l'élevage en barriques bonde dessus, les prélèvements classiquement réalisés à la pipette, au sommet de la barrique, ne sont pas représentatifs de la microflore résiduelle. En effet, entre chaque manipulation du vin, les levures sédimentent et se déposent progressivement au fond de la barrique. Il s'établit un gradient de concentration en levures. Les levures non-*Saccharomyces* peuvent échapper à la détection par le prélèvement classique, alors que leur concentration peut être supérieure à 10^4 UFC.mL^{-1} au fond de la barrique. La population des levures diffère en nombre, mais aussi dans la répartition des différentes espèces présentes. L'environnement sensiblement plus oxydatif au niveau de la bonde semble préférentiellement convenir aux levures de l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*, tandis que l'espèce *Brettanomyces bruxellensis* semble parfaitement s'accommoder des conditions réductrices de la lie au fond de la barrique.

L'espèce *Brettanomyces bruxellensis* est capable de se développer dans les lies et de produire des phénols volatils qui à forte concentration altèrent les qualités organoleptiques du vin. Ce processus existe même si les levures ne sont pas remises en suspension. Ce n'est donc pas seulement le batonnage des lies, mais plus généralement l'élevage sur lies qui peut être favorable à la production de phénols volatils.

Lors d'un soutirage, l'action de transférer le vin entre deux barriques permet de séparer le vin de la lie ce qui assure une élimination des levures du genre *Brettanomyces* du vin. Progressivement, à condition que la croissance

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

de la population soit contenue par le sulfitage, les soutirages permettent d'obtenir un vin de plus en plus stable.

Ces résultats soulignent le rôle fondamental des soutirages réguliers lors de l'élevage en barrique. Ils soulèvent les dangers possibles de l'élevage sur lies, ainsi que de l'utilisation des lies issus du soutirage lors d'assemblage ou comme vin d'ouillage. Dans ces opérations, la réintégration de fortes concentrations en *Brettanomyces bruxellensis* dans des vins dans lequel l'écosystème microbien serait déjà appauvri provoquerait une contamination irréversible et préjudiciable.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHATONNET P., BOIDRON J.N., 1988. Dosage de phénols volatils dans les vins par chromatographie en phase gazeuse. *Sc. Aliments*, **8**, 479-488.

DIAS L., PERREIRE-DA-SILVA S., TAVARES M., MALFEITO-FERREIRA M. et LOUREIRO V., 2003. Factors affecting the production of 4-ethylphenol by the yeast *Dekkera bruxellensis* in oenological conditions. *Food Microbiology*, **20**, 377-384.

ESTÈVE-ZARZOSO B,. BELLOCH C., URUBURU F., ET QUEROL A., 1999. Identification of yeasts by RFLP analysis of the 5,8 rRNA gene and the two ribosomal internal transcribed spacers. *Int. J. of Systematic Bacteriology*, **49**, 329-337.

FLEET G.H., 2003. Yeast interactions and wine flavour. *Int. J. food microbiology*, **86**, 11-22.

FORNAIRON-BONNEFOND C., CAMARASA C., MOUTONET M., ET SALMON J.M., 2002. New trends on yeast autolysis and wine ageing on lees: A bibliographic review. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **36**, 49-69.

GUILLAMON J.M., SABATÉ J., BARRIO E., CANO J., ET QUEROL A., 1998. Rapid identification of wine yeast species based on RFLP analysis of the ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region. *Archives of Microbiology*, **169**, 387-392.

HERESZTYN T., 1986. Metabolism of volatile phenolics compounds from hydroxycinnamic acids by *Brettanomyces* yeast. *Archives of Microbiology*, **146**, 96-98.

IBEAS J.I., LOZANO I., PERDIGONES F., ET JIMENEZ J., 1996. Detection of *Dekkera-Brettanomyces* strains in sherry by a nested PCR method. *Applied and Environmental Microbiology*, **62**, 998-1003.

LONVAUD-FUNEL A. 2001. Les aspects microbiologiques de l'élevage des vins rouges en barriques. 5e Colloque des Sciences et Techniques de la Tonnellerie. *Connaissances actuelles et Avenir de l'élevage en barriques*, p. 47-51.

LOUREIRO V. ET MALFEITO-FERREIRA M. 2003. Spoilage yeasts in the wine industry. *Int. J. Food Microbiology*, **86**, 23-50.

MARTINI A. 1993. Origin and domestication of the wine yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *J. wine research*, **3**, 165-176

MILLET V. ET LONVAUD-FUNEL A. 1999. Incidence du dioxyde de soufre sur les micro-organismes pendant l'élevage des vins rouges. *J. Sci. Tech. Tonnellerie*, **1**, 123-126

MILLET V. et LONVAUD-FUNEL A 2000. The viable but non-cultivable state of wine micro-organisms during storage. *Letters in Applied Microbiology,* **30**, 136-141.

MILLET V. 2001. Dynamique et survie des populations bactériennes dans les vins rouges au cours de l'élevage : interactions et équilibres. *Thèse Doctorat*. Université de Bordeaux II.

MORTIMER R.K. et POLSINELLI M. 1999. On the origin of wine yeast. *Res. Microbiol.*, **150**, 199-204

VIVAS N. et GLORIES Y., 1993 Les phénomènes d'oxydoréduction lies à l'élevage en barriques des vins rouges : Aspects technologiques. *Rev. Fr. œnologues*, **33**, 33-38.

Manuscrit reçu le 30 août 2004 ; accepté pour publication, après modifications le 27 octobre 2004

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)