Connaissance Vigne Vin, 1983, **17**, N° 3, 205-217.

LES CAUSES, LA PRÉVENTION ET LE TRAITEMENT DES ARRETS DE LA FERMENTATION ALCOOLIQUE

Catherine GENEIX, Suzanne LAFON-LAFOURCADE * et P. RIBÉREAU-GAYON

Institut d'Œnologie, Université de Bordeaux II
* Institut National de la Recherche Agronomique
351, cours de la Libération, 33405 Talence Cédex (France)

INTRODUCTION

L'arrêt spontané de la fermentation alcoolique du moût de raisin, avant la transformation totale du sucre ou avant que ne soit atteint un titre alcoométrique convenable, constitue l'un des problèmes microbiologiques majeurs de la vinification. Il peut déboucher sur des développements bactériens et conduire à des accidents graves.

Certains facteurs favorisent les arrêts de fermentation, concentrations excessives en sucre (LAFON-LAFOURCADE et *al.*, 1979), carences vitaminiques et azotées, présence de substances antilevure exogènes (RIBÉREAU-GAYON et *al.*, 1976) et produites par des parasites du raisin (RIBÉREAU-GAYON et *al.*, 1979), conditions d'anaérobiose, température de fermentation trop élevée (STREHAIANO et *al.*, 1978), clarification du moût (RIBÉREAU-GAYON et *al.*, 1975).

Néanmoins, dans un milieu nutritif complet, fermentant dans des conditions physico-chimiques satisfaisantes, le cycle de croissance des levures présente une phase de déclin plus ou moins prolongée selon la teneur initiale en sucre ; l'activité fermentaire des levures ralentit jusqu'à l'arrêt (LAFON-LAFOURCADE et *al.*, 1979). Dans ce cas, il est clair que l'inhibition découle des modifications apportées au milieu par le métabolisme levurien. L'éthanol est un inhibiteur bien connu.

Dans ce travail, on précise d'abord l'action inhibitrice de l'éthanol. Un résultat essentiel est l'identification d'autres substances toxiques pour les levures produites par la fermentation. Enfin, leur élimination est réalisée par adsorption sur un matériel inerte qui constitue un remarquable activateur de la fermentation.

MATERIELS ET METHODES

On utilise pour milieux de base un jus commercial de raisin de Muscat enrichi en sucre par addition de saccharose, et un milieu synthétique complet.

Ce milieu à pH 3,5 contient par litre : saccharose 0,58 M ; acide D-L malique $0{,}4.10^{-1}$ M ; acide tartrique $0{,}2.10^{-1}$ M ;asparagine $0{,}15.10^{1-}$ M ; sulfate d'ammonium $0{,}15.10^{-1}$ M ; sulfate de potassium $0.14.10^{-1}$ M ; acide citrique $0{,}15.10^{-1}$ M ; sulfate de magnésium $0{,}16.10^{-2}$ M ; sulfate de manganèse $0{,}66.10^{-4}$ M ; solution de vitamines B 10 ml.

La solution de vitamines contient par litre : biotine 4 mg ; mésoinositol 500 mg ; thiamine, pyridoxine, acide nicotinique, acide pantothénique, acide para-aminobenzoïque 100 mg.

Les milieux sont stérilisés par filtration sur membrane de 0,45 µm et répartis à raison de 500 ml en flacons de 750 ml, stériles, bouchés d'un dispositif qui assure une semi-aérobiose.

On dénombre les levures viables en milieu nutritif solide et les populations totales au microscope à l'aide d'un compte globules Malassez (LAFON-LAFOURCADE et *al.*, 1979). On suit la vitesse de fermentation par dosage chimique des sucres résiduels en fonction du temps (RIBÉREAU-GAYON et *al.*, 1976). Les substances volatiles, acides gras et esters, sont dosées par chromatographie en phase gazeuse (BERTRAND, 1976).

RESULTATS

I. — MISE EN EVIDENCE DU ROLE INHIBITEUR DES ACIDES OCTANOÏQUE ET DÉCANOÏQUE

Dans un premier essai, on cherche à préciser le rôle inhibiteur de l'éthanol. A cet effet, le milieu synthétique complet ensemencé avec *Sacch. cerevisiae* est mis à fermenter à 25 °C. On interrompt la fermentation en éliminant les levures au moyen d'une double centrifugation aux phases de prolifération, stationnaire et déclin du cycle de croissance (milieux préfermentés I, II, III). D'un autre côté on prépare des milieux témoins composés du même milieu synthétique ajusté aux mêmes teneurs en sucre et en éthanol que celles des milieux préfermentés I, II, III. On ensemence ces divers milieux avec une même population *Sacch. cerevisiae* en phase de prolifération. Dans chacun des milieux témoins, on observe une augmentation des populations viables, plus ou moins importante selon la teneur en éthanol (figure 1). Dans les milieux préfermentés I et II également, on note le même phénomène mais les croissances totales sont respectivement deux fois et six fois moins fortes que dans leur témoin respectif. Par contre, dans le milieu préfermenté III toute multiplication est interdite ; la population régresse de 10^7 à $4{,}7 \times 10^4$ cellules par ml en 6 jours.

Dans les conditions de l'expérimentation, les carences nutritionnelles ne sont pas responsables des phénomènes d'inhibition. En effet, l'addition aux milieux préfermentés d'une solution de vitamines B ou d'un ensemble d'activateurs est sans action (LAFON-LAFOURCADE et *al.*, 1979).

En conséquence, on peut penser que les phénomènes d'inhibition sont induits par la formation, au cours de la fermentation, de substances toxiques pour la levure.

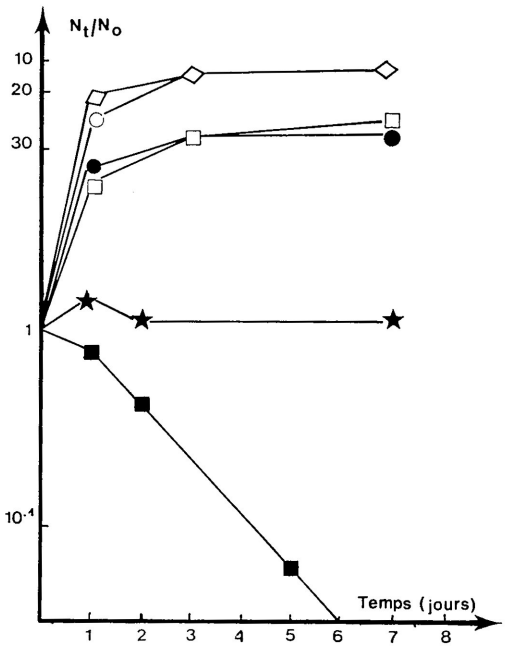


Fig. 1. — Evolution des populations de **Sacch. cerevisiae** inoculées en phase de prolifération dans différents milieux :

○, témoin non fermenté I (éthanol 1,7 p. 100 vol. ; saccharose 160 g/l) ;
●, préfermenté I (éthanol 1,7 p. 100 vol. ; saccharose 160 g/l) ;
◇, témoin non fermenté II (éthanol 7 p. 100 vol. ; saccharose 65 g/l) ;
★, préfermenté II (éthanol 7 p. 100 vol. ; saccharose 65 g/l) ;
□, témoin non fermenté III (éthanol 9,5 p. 100 vol. ; saccharose 23 g/l) ;
■, préfermenté III (éthanol 9,5 p. 100 vol. ; saccharose 23 g/l).
(Nt, nombre de cellules par millilitre à l'instant **t** ; No, nombre de cellules par millilitre à l'origine soit environ 10^7).

Dans une autre série d'essais, on a tenté de détruire ces substances par chauffage à 65 °C pendant 15 minutes ; ce traitement demeure sans effet. Il ne s'agit donc pas de substances de nature protéique. L'addition au milieu préfermenté III de 700 mg de bentonite par litre est sans action. Par contre, l'addition de charbon à la dose de 2 g par litre autorise une certaine croissance (figure 2).

Les substances inhibitrices doivent donc être pour l'essentiel de poids moléculaire relativement faible puisque non adsorbées par la bentonite mais en partie éliminées par le charbon.

On a essayé d'identifier ces substances parmi les produits secondaires du métabolisme levurien, alcools supérieurs, esters, acides gras.

Le milieu non fermenté III est additionné d'un mélange d'alcools supérieurs (par litre : propanol-1, 30 mg ; méthanol, 100 mg ; méthyl-2 propanol-1, 60 mg ; phényl-2 éthanol, 100 mg ; méthyl-3 butanol-1, 100 mg), d'acide gras (par litre acide hexanoïque, 3 mg ; acide octanoïque, 3 mg ; acide décanoïque, 3 mg) et des esters éthyliques correspondants (par litre : 20 mg). Les résultats montrent (figure 3) que la croissance totale est peu modifiée par l'addition d'alcools supérieurs ; elle est sensiblement diminuée par celle des esters et du mélange esters/alcools supérieurs, Mais surtout, le mélange des acides octanoïque et décanoïque aux concentrations rencontrées dans les vins (3 mg par litre) entraîne une extinction brutale des populations.

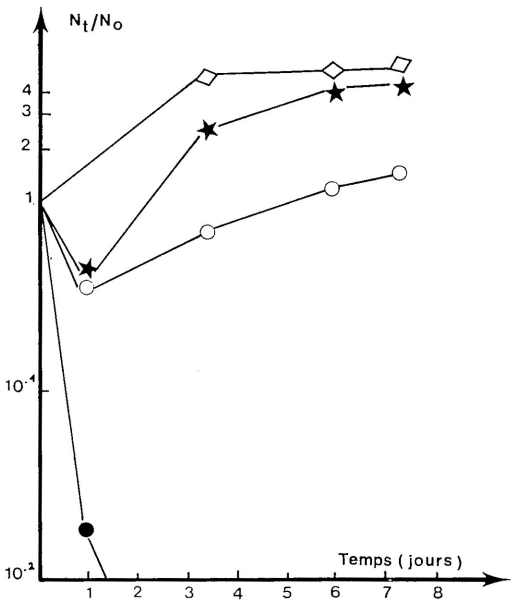


Fig. 2. — Evolution des populations de **Sacch. cerevisiae** inoculées en phase de prolifération dans différents milieux :

● , préfermenté III (éthanol 10,5 p. 100 vol. ; saccharose 25 g/l) ;
○ , préfermenté III, traité au charbon (2 g/l) ;
★ , témoin non fermenté III (éthanol 10,5 p. 100 vol. ; saccharose 25 g/l) ;
◇ , témoin non fermenté III, traité au charbon.
(Nt, nombre de cellules par millilitre à l'instant **t** ; No, nombre de cellules par millilitre à l'origine, soit environ 10^7).

On peut envisager deux applications pratiques à partir de ces résultats théoriques :

1) ces substances peuvent être utilisées comme adjuvants à l'anhydride sulfureux pour assurer aux vins de meilleures conditions de stabilisation et de conservation (Brevet n° 8309214). Cette question sera développée ultérieurement.

2) l'élimination totale ou partielle de ces mêmes substances devrait conduire à une stimulation de la fermentation avec pour conséquence d'éviter les arrêts de fermentation et de permettre de relancer plus facilement les fermentations arrêtées.

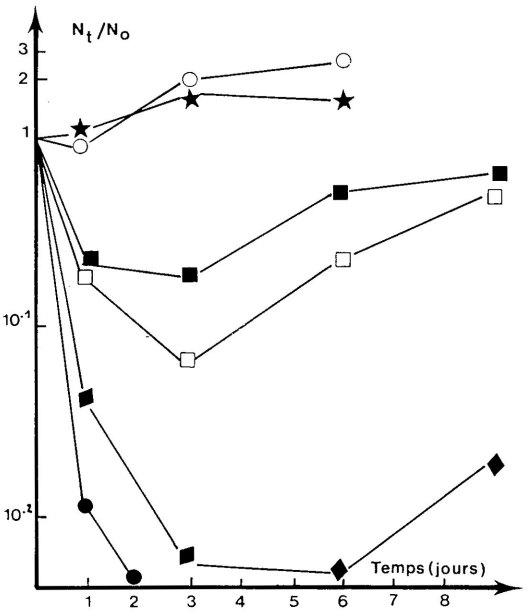


Fig. 3. — Evolution des populations de **Sacch. cerevisiae** inoculées en phase de prolifération dans différents milieux :

○, témoin non fermenté III (éthanol 9,25 p. 100 vol. ; saccharose 26,5 g/l) ;
★, témoin non fermenté III additionné d'alcools supérieurs ;
■, témoin non fermenté III additionné d'esters ;
□, témoin non fermenté III additionné d'esters et d'alcools supérieurs ;
◆, témoin non fermenté III additionné d'acides gras ;
●, préfermenté III (éthanol 9,25 p. 100 vol. ; saccharose 26,5 g/l).
(Nt, nombre de cellules par millilitre à l'instant **t** ; No, nombre de cellules par millilitre à l'origine, soit environ 10^7).

II. — PREVENTION ET TRAITEMENT DES ARRETS DE FERMENTATION PAR ADDITION AUX MILIEUX D'ECORCES DE LEVURES

L'action activatrice du charbon précédemment décrite est depuis longtemps connue en œnologie ; elle n'avait pas reçu d'explication. On constate que 2 g de charbon par litre ajoutés dans un milieu contenant par litre 10 et 3 mg d'acides octanoïque et décanoïque éliminent 97,2 p. 100 de chacun de ces deux acides après 1 heure de contact. Il est probable que le charbon agit en adsorbant les acides gras, toxiques pour la levure. Mais son utilisation est limitée par la législation et la difficulté de son élimination.

Des observations préliminaires montrent que dans des milieux contenant des levures, les esters sont adsorbés par celles-ci. Nous avons cherché à exploiter cette propriété. Des écorces de levure ont été préparées à l'Institut d'Œnologie. Devant l'efficacité de l'utilisation de ces préparations (Brevet n° 8309215), il a été fait appel à des préparations industrielles (Fould-Springer, 94701 Maisons-Alfort, France).

L'addition par litre de moût de 0,2 à 1 g d'écorces de levure assure une fermentation plus complète de sucre et en conséquence permet de prévenir dans une certaine mesure un arrêt de fermentation ; elle opère dans les cas des moûts :

1) contenant de fortes concentrations initiales en sucre (250 g par litre) (tableau I) ;

TABLEAU I

Stimulation de la fermentation alcoolique du moût de raisin par addition d'écorces de levure

Résultats à l'arrêt spontané des fermentations

Température : 19°C — Ensemencement : 10^6 cellules par millilitre
Levure : **S. cerevisiae** — Sucre initial : 260 g par litre

	Témoin	$SO_4(NH_4)2$ 0,2 g/l	Ecorces de levure 0,2 g/l	0,5 g/l	1,0 g/l
	Addition avant fermentation				
Sucres résiduels	54	48	13	4	3
Levures totales	9	10	11	11	14
Levures viables	0,35	0,27	1,0		2,6
	Addition au 5e jour de la fermentation				
Sucres résiduels	51		21	4	4
Levures totales	9				8,2
Levures viables	0,35		1,6		2,9

Les sucres résiduels sont exprimés en g par litre ;
le nombre de levures est donné par millilitre x 10^7.

2) contenant des résidus de substances chimiques utilisées pour la protection sanitaire du vignoble (tableau II) ;

3) provenant de raisins parasités par *Botrytis cinerea* (tableau II) ;

4) fermentant à température élevée. Dans un moût titrant 220 g de sucre par litre fermentant à 30 °C, 160, 192 et 213 g de sucre par litre

sont dégradés au total, en présence respectivement de 0, 0,2 et 1 g d'écorces de levure par litre.

TABLEAU II

Stimulation de la fermentation alcoolique du moût de raisin contenant initialement des substances inhibitrices par addition d'écorces de levure avant fermentation

Résultats à l'arrêt des fermentations

Température : 19°C
Levure : **S. cerevisiae**

Les chiffres représentent la teneur en sucres résiduels (g/l)

Substances inhibitrices	Témoin	Ecorces de levure (g/l) 0,2	0,5	1,0
	Moût de raisin sain. Sucre initial 250 g/l			
Euparène (4 mg/l)	59	18	—	3
Mikal (10 mg/l))	49	32	—	7
	Moût de raisin parasité par **Botrytis cinerea.** Sucre initial 320 g/l.			
Secrétées par **Botrytis cinerea**	128	—	83	—

Enfin, dans le cas d'un arrêt de fermentation, l'addition d'écorces de levure à la dose de 0,5 g par litre, 24 heures avant un ensemencement, à raison de 10^6 cellules par ml de *Sacch. cerevisiae,* facilite la dégradation du sucre résiduel par la deuxième population (tableau III).

III. — MECANISME D'ACTION DES ECORCES DE LEVURE

Les écorces de levure permettant le maintien d'un taux de survie plus important dans les populations non proliférantes (tableau I), fonctionnent essentiellement comme facteurs de survie (LAFON-LAFOURCADE et *al.,* 1979). Ce mode d'action est confirmé par l'efficacité des additions d'écorces de levure pendant la phase stationnaire des populations au 5e jour des fermentations (tableau I).

Le mécanisme d'action est précisé par un autre essai. On ajoute 0,2, 0,5 et 1 g d'écorces de levure par litre dans un milieu synthétique (composition par litre : éthanol, 10 p. 100 en vol. ; acide hexanoïque, 6 mg ; acide octanoïque, 10 mg ; hexanoate d'éthyle, 1,01 mg ; octanoate d'éthyle, 1,37 mg ; décanoate d'éthyle, 0,61 mg). Après 24 heures, on centrifuge à 7000 g et

on dose chacune de ces substances dans le surnageant. Les résultats (tableau IV) montrent que les écorces fixent les esters essentiellement les décanoate et octanoate d'éthyle, également l'acide décanoïque le plus toxique pour la levure. Les quantités adsorbées augmentent avec la concentration en écorces. On constate, par ailleurs, que le prolongement du temps de contact après 24 heures est sans incidence significative.

TABLEAU III

Stimulation de la deuxième fermentation après un arrêt spontané de la fermentation alcoolique par addition au milieu d'écorces de levure (0,5 g/l)

Les chiffres représentent les taux de sucres résiduels (g/l)

1er ESSAI

Caractéristiques de la première fermentation :

Température de la fermentation : 19 °C

Composition à l'arrêt spontané : Ethanol : 10,5 % vol. ; Sucres : 67,1 g/l

Deuxième fermentation

	Durée (jour)				
	9	12	16	27	36
Témoin	57,6	49,0	35,9	15,6	13,4
Traité	53,4	37,0	23,6	2,8	1,4

2e ESSAI

Caractéristiques de la première fermentation :

Température de la fermentation : 30 °C

Composition à l'arrêt spontané : Ethanol : 7,0 % vol. ; Sucres : 121 g/l

Deuxième fermentation

	Durée (jour)				
	9	12	16	27	36
Témoin	66,4	53,0	33,0	9,9	8,6
Traité	40,1	27,6	12,9	0,6	0,6

Dans les deux essais la teneur initiale en sucres est de 250 g par litre.

Néanmoins, lorsque les écorces de levure sont ajoutées au moût avant fermentation aux doses de 0,2 à 0,5 g par litre, les teneurs du vin en esters ne sont pas modifiées de manière significative (tableau V). Tout se passe comme si au fur et à mesure de leur adsorption, il se produisait une excrétion nouvelle de substances volatiles afin de rétablir un certain équilibre entre les concentrations endo et exo-cellulaires. Cette importante question sera précisée par des études ultérieures portant sur la cinétique de la formation de ces différentes substances.

TABLEAU IV

Adsorption des acides gras et des esters éthyliques de ces acide gras par les écorces de levure en milieu synthétique non ensemencé

Les chiffres expriment les pourcentages de substances adsorbées après 24 heures

	Poids d'écorces de levure (g/l)		
	0,2	0,5	1,0
Acide héxanoïque	traces	traces	traces
Acide octanoïque	1,2	4,5	7,2
Acide décanoïque	20,2	40,7	54,5
Hexanoate d'éthyle	25,8	36,2	36,8
Octanoate d'éthyle	58,2	73,8	77,7
Décanoate d'éthyle	88,8	94,6	94,6

Sur le plan gustatif, on n'observe aucune modification importante des caractères organoleptiques des vins élaborés en présence d'écorces de levure.

DISCUSSION

L'ensemble de ces résultats montre d'abord que l'arrêt de la fermentation alcoolique dans les milieux nutritifs complets riches en sucre, tels le moût de raisin, ne provient pas de carences nutritionelles. Il est provoqué par la formation par la levure, en plus de l'éthanol, de substances toxiques pour elle-même. Parmi celles-ci ont été identifiées certains esters et acides gras, notamment les acides décanoïque et octanoïque ; ils agissent en synergie avec l'éthanol. La seule référence concernant l'action antilevure de ces acides semble être due à NORSTROM (1964) montrant un effet défavorable sur la levure de bière. Mais à notre connaissance, c'est la première fois que ce phénomène est donné comme explication au problème des arrêts de fermentation en vinification.

TABLEAU V

Substances volatiles de vins issus de la fermentation d'un moût de raisin traité ou non avec des écorces de levure

Les chiffres représentent des mg par litre

Substances volatiles	Témoin	Ecorces de levure (g/l)	
		0,2	0,5
Acide acétique	0,29	0,23	0,23
Acide héxanoïque	8,00	7,20	6,45
Acide octanoïque	4,96	4,40	4,13
Acide décanoïque	2,03	1,70	1,25
Acétate d'isoamyle	1,84	2,13	2,52
Hexanoate d'éthyle	0,71	0,62	0,61
Acétate d'hexyle	0,15	0,11	0,11
Hexanol	0,58	0,57	0,51
Octanoate d'éthyle	0,70	0,66	0,63
Décanoate d'éthyle	0,49	0,48	0,39
Succinate de diéthyle	0,14	0,24	0,20
Acétate de phényléthyle	0,18	0,24	0,26
Phényl éthanol	23,9	39,4	35,0

Dans le moût de raisin, l'arrêt de la croissance ne correspond pas avec l'épuisement du milieu en substrats glucidiques ; il coïncide avec une carence cellulaire en stérols (LARUE et *al.*, 1980). On interprète l'inhibition du métabolisme par, soit une accumulation d'éthanol dans la cellule (NAVARRO et DURAND, 1978), soit une difficulté de pénétration des sucres (LARUE et *al.*, 1982). L'efficacité des écorces de levure semble indiquer que la toxicité des acides gras provient de leur fixation sur la paroi de la levure en fermentation ; la conséquence serait une perturbation des échanges de la cellule avec le milieu.

Un autre résultat significatif est le rôle des écorces de levure préparées industriellement. Elles adsorbent presque sélectivement les substances les plus toxiques pour la levure elle-même. Cette propriété fait de ce matériel un « facteur de survie » particulièrement efficace. Il permet à la levure d'exprimer mieux sa capacité fermentaire potentielle. Son emploi est susceptible de se substituer à l'ensemencement des moûts

avec des levures sélectionnées pour leur propriété alcoogène. Actuellement, l'addition d'écorces de levure au moût constitue le moyen le plus performant pour prévenir les arrêts de fermentation. Elles sont également très efficaces pour relancer une deuxième fermentation après l'arrêt de la première. Leur addition semble sans incidence sur l'arôme et le goût du vin.

C'est à notre connaissance la première fois qu'un tel procédé est préconisé. Il est probable que son principe dépasse le cadre de l'œnologie et qu'il puisse être étendu à un grand nombre de fermentations en milieux non renouvelés dans lesquels l'arrêt n'est pas provoqué par l'épuisement nutritionnel du milieu. En effet, dans ce cas, les difficultés de fermentation proviennent de l'accumulation dans le milieu de déchets du métabolisme du microorganisme impliqué dans la fermentation ; certains d'entre-eux, parmi les plus inhibiteurs pourraient être adsorbés par les écorces du microorganisme même ou d'une espèce voisine présentant les mêmes propriétés membranaires.

Ces résultats seront mis à l'épreuve de la pratique au cours de la campagne de vinification 1983.

Remerciements. — Nous remercions le Professeur A. BERTRAND pour l'aide qu'il a apportée aux dosages des substances volatiles par chromatographie en phase gazeuse et le Docteur D. DUBOURDIEU pour les discussions déterminantes que nous avons eues à ce sujet.

Manuscrit reçu le 2 septembre 1983 ; accepté pour publication le 29 septembre 1983.

RESUMÉ

Dans les milieux nutritifs complets riches en sucre, tels le moût de raisin, l'inhibition de la fermentation alcoolique découle de la production par la levure de substances qui, en synergie avec l'éthanol, sont toxiques pour elles-mêmes. Il s'agit essentiellement des acides décanoïque et octanoïque également de leurs esters. Leur adsoption par des écorces de levure permet la prévention et le traitement des arrêts de la fermentation (Brevet n° 8309215).

SUMMARY

In complete nutritive medium rich in sugar, such as grape must, the inhibition of alcoholic fermentation is caused by substances produced by the yeast which, acting synergistically with ethanol, are toxic to the yeasts themselves. Among these are decanoic and octanoic acids and their corresponding ethyl esters ; their adsorption by yeast ghosts permits the prevention and treatment of fermentation stoppages (Patent n° 8309215).

ZUSAMMENFASSUNG

In den Traubensäften, vollständiger zuckerreichen Nährboden, komm die Blockierung der Alkoholgährung durch die Produzierung der Häfe volatischer Substänze, die in Sinergie mit dem ethalon selbstgiftig werden, vor.

es handelt sich hauptsächlich von den decanoischen und den octanoischen Säuren und ihren Esters.

Ihre Adsorptierung durch die Hefenrinde erlaukt den Gährungsunterbrüchen vorzubeugen und sie zu behandeln.
(PATENT n° 830 9215)

RESUMEN

En mostos de uvas que son medios de cultivo completos ricos en azúcar, la inhibición de la fermentación alcohólica provoca la producción por la levadura de sustancias volátiles que, en sinergia con el etanol, son tóxicas para la propia levadura. Se trata esencialmente de ácidos decanoico y octanoico y sus ésteres. Su adsorción por paredes de levadura permite la prevención y tratamiento de las paradas en el curso de la fermentación (Patente n° 8309215)

RIASSUNTO

Nei mosti d'uva, ambienti nutritivi completi, ricchi in zucchero, l'inibizione della fermentazione alcolica deriva della produzione di sostanze volatili con il lievito ; queste sostanze in sinergia con l'etanolo sono tossici per loro stesso.

Sono sopratutto acidi decanoici ed ottanoici ed i loro proprio esteri. Il loro assorbimento con scorze di lievito permette la prevenzione e il trattamento delle soste di fermentazione.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BERTRAND A., 1976. Recherches sur l'analyse des vins par chromatographie en phase gazeuse. *Thèse d'Etat,* Université de Bordeaux II.

CARRE E., 1982. Recherches sur la croissance des bactéries lactiques en vinification. Désacidification biologique des vins. *Thèse 3 cycle,* Université Bordeaux II.

LAFON-LAFOURCADE S., LARUE F. et RIBÉREAU-GAYON P., 1979. Evidence for the existence of « Survival factors » as an explanation for some pecularities of yeast growth, especially in grape must of high sugar concentration. *Appl. Environ. Microbiol.,* **38**, N° 6, 1069-1073.

LARUE F., LAFON-LAFOURCADE S. et RIBÉREAU-GAYON P., 1980. Relation between the sterol content of yeast cells and their fermentation activity in grape must. *Appl. Environ. Microbiol.,* **39**, N° 4, 808-811.

LARUE F., LAFON-LAFOURCADE S. et RIBÉREAU-GAYON P., ,1982. Inhibition de *Saccharomyces cerevisiae* dans le moût de raisin. *C.R. Acad. Sci.*, 294 III, 587-590.

NAVARRO J.M. et DURAND G., 1978. Fermentation alcoolique. Influence de la température sur l'accumulation d'alcool dans les cellules de levures. *Ann. Microbiol.,* 129 B, 215-221.

NORSTRÖM K., 1964. Formation of esters from acids by brewer's yeast. IV. — Effect of higher fatty acids and toxicity of lower fatty acids. *J. Inst. Brew,* **70**, 223-242.

RIBÉREAU-GAYON P., LAFON-LAFOURCADE S. et BERTRAND A., 1975. Le débourbage des moûts de vendange blanche. *Connaissance Vigne Vin,* **9**, N° 2, 117-139.

RIBÉREAU-GAYON P., LAFON-LAFOURCADE S., DUBOURDIEU D., LUCMARET V. et LARUE F., 1979. Métabolisme de *Saccharomyces cerevisiae* dans les moûts de raisins parasités par *Botrytis cinerea.* Inhibition de la fermentation ; formation d'acide acétique et de glycérol. *C.R. Acad. Sci.,* 289 D, 441-444.

RIBÉREAU-GAYON P., PEYNAUD E., RIBÉREAU-GAYON P. et SUDRAUD P., 1976. *Sciences et Techniques du vin,* Tome III. Dunod éd., Paris.

STREHAIANO P., MORENO M. et GOMA G., 1978. Fermentation alcoolique : influence de la concentration en glucose sur le taux de producduction d'éthanol et le taux de croissance. *C.R. Acad. Sci.,* 286 D, 225-228.