

FERMENTATION MALOLACTIQUE – RAPPORT SUR LES RECHERCHES RECENTES MENEES SUR LE MOMENT DE L'ENSEMENCEMENT ET LES COMBINAISONS POSSIBLES ENTRE LEVURES ET BACTERIES.

Sibylle Krieger¹, Kathy Arnink²

1 – Lallemand Inc, 2 – Cornell University

Les interactions entre les levures et les bactéries

Le vin, ce n'est pas seulement un produit réalisé à partir de raisins et transformé à l'aide de moyens techniques. Le vin est produit à partir de la fermentation microbienne complexe du jus de raisin, qui implique le développement séquentiel de diverses espèces de levures et de bactéries lactiques. Durant sa fermentation, la qualité finale du vin dépend de deux facteurs importants : premièrement, de la qualité de la matière première et de la préparation du jus, et deuxièmement de la sélection des levures et des bactéries les plus appropriées et du contrôle des conditions de fermentation. La mission de l'œnologue est de faire en sorte que les levures de fermentation et les bactéries malolactiques désirées prédominent dans le moût et le vin et que ce soit elles qui mènent les fermentations. Actuellement, la plupart des plus grands producteurs de vin ensemencent leurs jus avec des souches de levures et de bactéries sélectionnées. Très souvent, les échecs d'implantation sont dus à de mauvaises procédures de préparation et d'ensemencement. Dans certains cas cependant, cet échec peut également être dû à des interactions antagonistes entre les levures et les bactéries utilisées (Tableau 1).

Concurrence pour les nutriments

Production d'inhibiteurs

Levures- bactéries

- Alcool
- SO₂
- Acides gras à chaîne moyenne (acide octanoïque et décanoïque)

Bactéries-levures

- Acide acétique
- Bactériocine

Tableau 1 – Interactions levures-bactéries

Effet du SO₂ et de la multiplication des levures sur la survie des bactéries

L'une des hypothèses est que des substances inhibitrices s'accumulent dans le vin. Le dioxyde de soufre, les concentrations en alcool et le pH font partie des paramètres qui influencent le plus la multiplication des bactéries malolactiques dans le vin. Henick-Kling démontrait déjà en 1994 qu'à cause de la production élevée de SO₂ en tout début de la

fermentation alcoolique, les levures en phase de multiplication active inhibent les levains malolactiques. En 1991, la croissance et l'activité malolactique des cultures starter d'*Oenococcus oeni* ensemencées simultanément avec des levures ont été observées dans un jus de Chardonnay, contenant du SO₂ et dans un autre jus de Chardonnay, celui là sans SO₂ (voir tableau 2).

Jus de Chardonnay A	Jus de Chardonnay B
<ul style="list-style-type: none"> • 23° Brix • pH 3, 3 • Acide malique 3, 30 g/l • SO₂: 17/35 mg/l (libre/total) (ajout de 50 mg/l au pressurage) 	<ul style="list-style-type: none"> • 20° Brix • pH 3, 3 • Acide malique 6, 00 g/l • SO₂: pas d'ajout

Tableau 2 – Taux de SO₂ libre et total

La viabilité des cultures bactériennes décroît rapidement jusqu'à des valeurs comprises entre 10² et 10³ CFU/ml lorsque leur ensemencement est réalisé en même temps que celui de la levure et dans un jus sulfité. Les cultures bactériennes croient à nouveau une fois la fermentation alcoolique achevée. La fermentation malolactique (FML) est complète après 32 à 55 jours, excepté pour la culture OSU dans un vin fermenté avec les levures K1 et EC1118 (Tableau 3). Les cultures bactériennes ensemencées dans un jus sulfité sans levure ajoutée perdaient leur viabilité à la même vitesse que celles ensemencées dans des jus avec levures ajoutées. Ainsi, l'effet de la levure ajoutée dans le jus n'a pas pu être démontré, à l'inverse de celui du SO₂ ajouté. La bactérie utilisée n'a pas eu d'impact sur la vitesse de fermentation de la levure.

Dans le jus sans SO₂ ajouté, les cultures d'*Oenococcus oeni* ont maintenu leur viabilité (Figure 2). La fermentation malolactique était réalisée entre 9 et 20 jours (Tableau 3).

Levures

Bactéries	EC1118	K1	71B	Wädenswil
A				
• OSU	> 50	> 50	40	40
• X-3	55	55	40	40
• Inobacter	55	55	32	32
B				
• OSU	18	13	9	9
• X-3	20	18	13	13
• Inobacter	18	13	18	9

Tableau 3 – Délai pour réaliser (en jours après ensemencement) la fermentation malolactique complète avec des cultures d’*Oenococcus oeni* OSU, X-3 et Inobacter dans des vins fermentés avec des levures œnologiques EC1118, K1, 71B et Wädenswil.

A : Fermentations levures et bactéries en concurrence dans un jus de Chardonnay présentant les paramètres suivants : 17/35 mg/l SO₂ (libre/total), pH 3, 3, TA 6,5 g/l.

B : Fermentations levures et bactéries en concurrence dans un jus de Chardonnay non sulfité, présentant les paramètres suivants : pH 3, 3, TA 12,0 g/l.

Des grandes différences dans la quantité de SO₂ produite pendant la fermentation alcoolique ont été relevées entre les 4 levures. La quantité relative produite par chaque levure dans le jus sulfité et dans le jus non sulfité suit la logique (Tableau 4). La levure K1 a produit plus de SO₂ que la EC1118 dans les deux jus. Ces deux levures ont produit plus de SO₂ que la 71B ou la Wädenswil. La levure K1, qui produit le plus de SO₂ a également été la souche la plus inhibitrice de la FML, lorsque les bactéries ont été ensemencées après la fermentation alcoolique. Les levures 71B et Wädenswil, petites productrices de SO₂, se sont révélées les plus propices à la FML et à la viabilité bactérienne.

Levure	Jus non sulfité		Jus sulfité (17/35 mg/l)	
	libre (mg/l)	total (mg/l)	Libre (mg/l)	total (mg/l)
• K1	7	27	7	42
• EC1118	9	27	8	30
• 71 B	9	8	15	17
• Wädenswil	4	3	2	13

Tableau 4 – Production de SO₂ de 4 levures oenologiques

Lors de cette étude, le SO₂ ajouté au pressurage et produit par la levure au cours de la fermentation alcoolique a été le facteur dominant pour déterminer le succès de l'ensemencement du jus avec des cultures starter de bactéries. Aucune autre interaction inhibitrice, telle que la concurrence vis-à-vis des nutriments ou la production de substances antibiotiques par la levure ou la culture bactérienne, n'a pu être démontrée.

Des études récentes menées par Henick-Kling et Kathy Arnink ont montré une différence importante entre les levures, non seulement au niveau de la production de SO₂ mais aussi au niveau de la consommation en azote aminé (Tableau 5).

		moyenne			
		1° N aminé	SO ₂ libre	SO ₂ total	pH
		mg/L	mg/L	mg/L	ajusté
	jus	119, 38			3,50
vin	D47	67, 03	5,3	9,9	3,32
	W27	79, 87	5,0	7,0	3,30
	Levure 1	76, 17	5,1	15,4	3,32
	W15	63, 62	4,9	8,5	3,29
	BM45	57, 46	5,1	55,9	3,29
	EC1118	70, 08	5,6	15,3	3,29
	Levure 2	55, 39	5,8	12,7	3,30
	W46	52, 92	5,6	12,5	3,29
	AMH	85, 19	5,4	9,0	3,30
	CY3079	68, 88	4,6	12,3	3,30

Tableau 5 – Production de SO₂ et différences dans l'azote aminé dans un Chardonnay, après fermentation alcoolique menée avec différentes levures.

Le tableau 6 présente les résultats des fermentations de ce Chardonnay menées à échelle de laboratoire. Dans les vins fermentés avec les levures présentant un besoin en azote aminé important et également des taux de SO₂ plus élevés, le démarrage de la FML a été

difficile voire impossible. A l'inverse, les levures dont les besoins en azote sont plus faibles semblent aider la FML. Cependant, outre l'influence de la levure, nous avons pu également observer des différences de sensibilité entre les cultures starter de bactéries ML utilisées pour lancer la FML. Les souches starter à ensemencement direct, au préalable pré-adaptées en production, ont démontré être moins sensibles que les autres (souches 54, 98, 101 et Bio).

	05	32	34	36	54	55	59	74	75	76	77	98	101	Bio
AMH	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+
BM45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
CY3079	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	/	-
D47	-	/	-	/	+	/	-	-	-	/	+	+	+	/
EC1118	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+
Levure 1	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+
Levure 2	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+
W15	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+
W27	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+
W46	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+

+ = FML achevée - = pas deFML / = certaines réplifications achevées

Figure 6: Réussite de la FML dans un Chardonnay produit à échelle de laboratoire

Les résultats des fermentations réalisées en laboratoire ont été comparés avec ceux réalisés avec une procédure de préparations de cultures en boîte de Pétri, testée comme méthode simple de prévision des combinaisons possibles entre les levures et les bactéries. Cette méthode s'inspire de l'utilisation des antibiogrammes. Elle est basée sur la sensibilité des bactéries à une substance spécifique. Cette substance, appliquée par le biais d'un papier filtre, se diffuse radialement dans l'agar et influence la croissance des bactéries en boîtes de Pétri. Une zone d'inhibition de croissance, i.e. une « zone claire » autour du disque, indique la présence de substances toxiques ou de concentrations toxiques. Le diamètre de la zone est proportionnel à la sensibilité ou à la résistance de la bactérie. Pour cette étude, le papier filtre a été imprégné de vin. Si la levure sélectionnée pour la FA

produit des substances néfastes ou bénéfiques lors de cette FA, l'apparition d'une zone de croissance ou d'inhibition ou encore d'une zone dense de croissance soutenue en serait l'indicateur. En outre, cette méthode est rapide et simple. Elle a ses propres limites : pour certaines souches, la croissance n'est pas un bon indicateur de la transformation de l'acide malique en acide lactique par les bactéries. Tel que mentionné précédemment, certaines bactéries réalisent la fermentation malolactique sans multiplication dans le vin. Un bon exemple à cela serait la souche commerciale Enoferm ALPHA. De ce fait, la méthode de culture sur boîte de Pétri ne permet pas de prévoir toutes les associations levures-bactéries fructueuses.

La comparaison des résultats de la culture sur boîte de Pétri et de la FML terminée dans un vin vinifié à l'échelle de laboratoire semble confirmer cela. Les résultats de la culture indiquent un effet positif des levures CY3079 et D47 sur la multiplication des souches de bactéries présentes dans le tableau, mais la FML n'a pas eu lieu dans les vins Chardonnay produits avec ces mêmes levures en laboratoire. Ces souches de levure pourraient utiliser certains éléments clés (pas nécessairement l'azote), essentiels à la croissance des bactéries lactiques dans le vin.

Afin d'élargir nos connaissances non seulement sur l'influence de l'association levures-bactéries mais aussi sur celle de la matrice du vin, un certain nombre d'associations levures/bactéries ont été testées dans des caves des Finger Lakes en 2001. La FML s'est achevée rapidement dans les barriques de Chardonnay vinifiées avec les associations levures/bactéries suivantes. 2 barriques de chaque combinaison ont été utilisées pour l'étude :

Levure W27 avec les bactéries EQ101, EQ98, et EQ32.

Levure CY3079 avec les bactéries EQ101, EQ98, et EQ32.

Levure D47 avec les bactéries EQ101, EQ54, et L41.

Levures CY3079 et D47 avec les 105 bactéries, en cuve.

Les autres cépages (rouges) de cette étude ont achevé leur FML.

Les résultats des vinifications menées à échelle industrielle indiquent que le Chardonnay est un cépage où réussir la FML est une chose particulièrement compliquée.

En 2002, les 10 levures Lallemant les plus utilisées ont été testées avec 5 cultures starter Lallemant pour co-inoculation directe, à échelle de laboratoire et industrielle.

Il est nécessaire de mener d'autres recherches pour mieux comprendre les facteurs qui influencent ces bactéries dans les diverses conditions rencontrées dans un vin. D'autres études, consistant à ajouter des nutriments dans des vins ou des milieux synthétiques afin de déterminer lesquels sont limitants pour les bactéries dans certains vins, seront menées. Nous devons également déterminer quels composés du vin ont des effets stimulateurs ou inhibiteurs sur *Oenococcus*. Les levures ou les bactéries peuvent produire ces composés dans le vin.

A partir des résultats préliminaires de ces études, nous avons proposé un tableau levures-bactéries et un outil de gestion des nutriments pour les levures et les bactéries afin de viser l'obtention des meilleurs résultats possible, en utilisant la bonne combinaison levures-bactéries et/ou ajoutant le bon nutriment.

LE MOMENT DE L'ENSEMENCEMENT

L'influence que joue le moment où le moût estensemencé ainsi que la quantité avec laquelle il estensemencé sur la contribution organoleptique de la fermentation malolactique est également mal connue.

Beelman et Kunkee ont montré que lorsque la FML se déroule en présence de sucres fermentables, cela ne conduit pas nécessairement à la production de quantités excessives d'acide acétique par les bactéries, tant que la fermentation alcoolique démarre rapidement et va jusqu'à son terme. Il y a toutefois le risque qu'une multiplication importante des bactéries inhibe celle des levures, entraînant ainsi un arrêt de fermentation et une contamination bactérienne du vin, avec apparition de mauvais goûts, dont ceux dus à un excès d'acétate (Lafon-Lafourcade).

Nous avons obtenu des résultats positifs dans le déclenchement simultané des fermentations alcoolique et malolactique. Nous avons observé les interactions entre levures œnologiques et bactéries lactiques starter sur plusieurs années (depuis 1996), en observant plus particulièrement le métabolisme du malate et du citrate et la formation d'acétate et de diacétyle. Dans des conditions de pH bas, les sucres ne produisent pas d'acide acétique. Même à des pH élevés, dans un Riesling millésime 2000, unensemencement précoce n'a pas conduit à une production excessive d'acide acétique. Cela a plutôt aidé à supprimer la multiplication de bactéries indigènes et a donc été profitable quant à l'hygiène du jus.

Des recherches menées par King et Beelman (1986) montraient déjà que la croissance d'*Oenococcus oeni* (anciennement *Leuconostoc oenos*) PSU-1 pouvait être retardée durant les premiers jours de la fermentation alcoolique par la production de composés toxiques produits par les levures, et autres que l'éthanol et le dioxyde de soufre. En comparant les courbes de croissance bactérienne dans des cultures de bactéries et de levures pures ou mixtes, ils ont découvert que la présence d'une levure à multiplication rapide était réellement antagoniste au développement bactérien. La figure 1 montre les cinétiques typiques de la survie et de la croissance bactérienne dans un vin modèle.

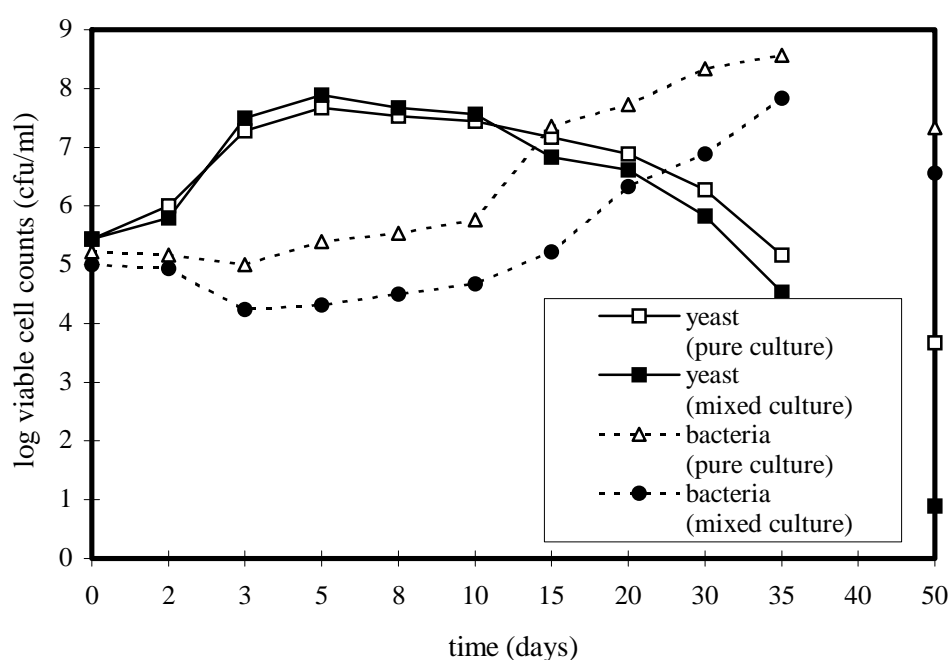


Figure 1 – Croissance de levures et bactéries œnologiques dans des cultures pures ou mixtes dans un milieu de jus de raisin/vin à 20° Brix (King et Beelman, 1986)

Ils ont émis l'hypothèse selon laquelle l'inhibition de la croissance bactérienne est due à la présence de métabolites de levure et/ou à la utilisation de substances nécessaires à la nutrition bactérienne par les levures. Les données de la figure 1 montrent que la transition entre la phase de latence et la phase logarithmique dans les cultures mixtes correspond avec la phase de mortalité dans le cycle de multiplication des levures. Ceci pourrait être dû au fait qu'avec l'autolyse des levures, des nutriments bactériens essentiels retournent dans le milieu. En comparant les courbes de croissance des levures dans les cultures pures et les cultures mixtes, ils ont pu démontrer qu'en phase stationnaire, la présence des bactéries n'affectait pas la multiplication des levures. Cependant, dans les cultures mixtes, la multiplication rapide des bactéries s'accompagne d'une accélération du taux de mortalité

des levures – Cette observation a pu être corroborée dans nos recherches. Lors des fermentations alcooliques et malolactiques conduites simultanément, la multiplication initiale et active des levures n'a pas été affectée. Cependant, à la fin de la fermentation alcoolique, et selon la levure utilisée, nous avons pu observer un déclin légèrement plus rapide de la population levurienne.

Risque de production d'acidité volatile

Certains chercheurs ont toutefois montré qu'une croissance bactérienne importante peut inhiber la multiplication des levures et ainsi entraîner la production de grandes quantités d'acidité volatile. La Figure 2 montre 3 différentes phases dans la croissance et le métabolisme bactériens.

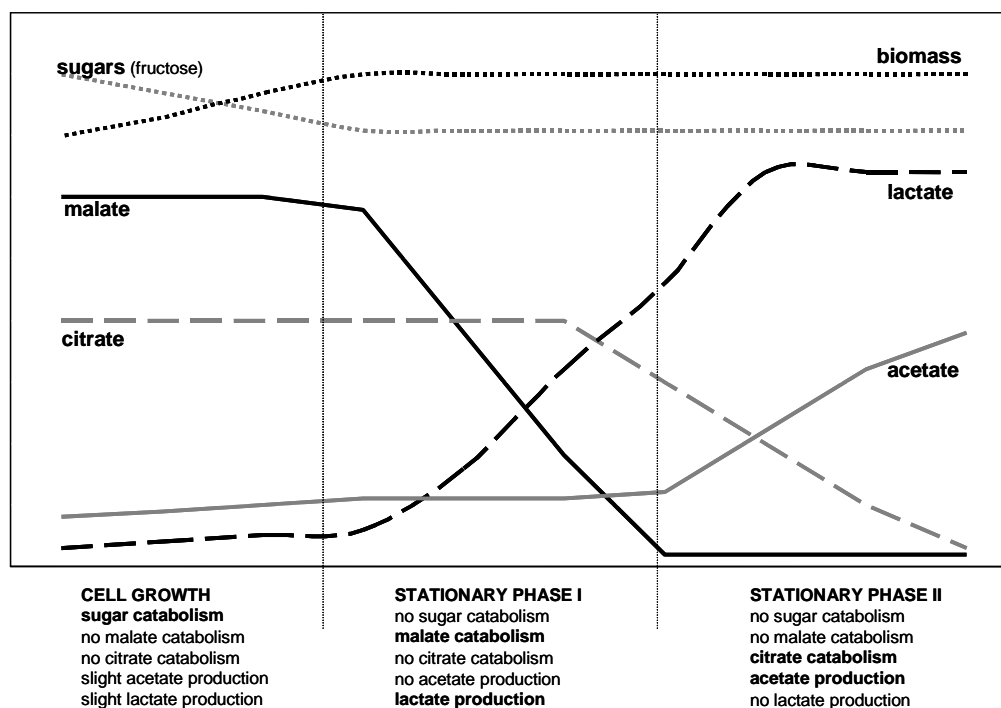


Figure 2: Métabolisme des sucres et des acides organiques dans le vin lors de la FML

Radler a relevé une petite consommation des sucres (0,2 – 2g) lors de la croissance bactérienne. Ainsi, en phase de croissance (phase I), de petites quantités d'acide acétique et d'acide D-lactique peuvent être produites (Figure 2). Lorsque le taux de cellules de 5×10^6 cfu/ml est atteint, la dégradation de l'acide malique se déclenche (Phase II). Lors de la dégradation de l'acide malique, il n'y a pas de production d'acide acétique. La Phase III se caractérise par la dégradation de l'acide citrique et des sucres, qui s'accompagne d'une

augmentation du taux d'acide acétique. Cependant, c'est seulement une fois que la dégradation des acides organiques est terminée (acide malique, puis acide citrique et autres acides, tels que l'acide fumarique) que les bactéries lactiques commenceront à dégrader les sucres. Cela entraîne une augmentation importante de l'acidité volatile. Nos expériences ont confirmé la non production d'acide acétique en phase de croissance des bactéries et lors de la FML active. C'est seulement quand l'acide malique a été dégradé de moitié et que les bactéries commencent à utiliser l'acide citrique qu'une augmentation de l'acide acétique a été observée. Aucune différence dans la concentration finale en acide acétique n'a été notée entre les essais menés sur la co-inoculation et ceux menés sur l'ensemencement post-fermentation alcoolique. La relation directe entre la dégradation de l'acide citrique et l'augmentation mesurable du taux d'acide acétique a été démontrée lors de l'expérience (données non présentées ici).

Selon la disponibilité en oxygène et le potentiel redox, l'acide citrique peut être utilisé comme un accepteur d'électrons, ce qui entraîne une production d'acide acétique, ou une dégradation de l'acide citrique en diacétyle. La réduction de diacétyle en acétoïne et butanediol dépend également des conditions redox du vin. Le diacétyle est considéré comme un composé aromatique majeur, pouvant donner au vin un arôme beurré notable à des concentrations comprises entre 0,02 et 2 mg/l. Le seuil de perception de l'acétoïne et du butanediol est beaucoup plus élevé que les concentrations auxquelles ces composés sont généralement rencontrés dans le vin. Ils ne jouent donc pas de rôle dans le profil aromatique du vin. Il faut mener d'autres recherches pour avoir des connaissances plus précises sur le taux d'oxygène et le potentiel redox et sur l'influence qu'ils exercent sur les concentrations finales en diacétyle et acide acétique. Une FML conduite en présence de lies entraîne toujours une production plus faible de diacétyle, car l'action réductrice des levures soutient la réduction du diacétyle en composés moins actifs au niveau aromatique. Les avantages de la co-inoculation, dans un vin blanc par exemple, conduira à une production plus faible de ces arômes lactiques et beurrés et permettra de produire un vin plus orienté sur le fruit.

En collaboration avec l'Université Massey en Nouvelle Zélande, une levure (CY 3079) et deux bactéries lactiques (EQ54 et ALPHA) ont été combinées lors de différentes vinifications. Pour chaque combinaison levure/bactérie, les bactéries ont étéensemencées soit en même temps que la levure (FA/FML simultanées) soit après la fermentation alcoolique (FA/FML séquentielles).

Pour cette étude, des raisins de cépage Chardonnay, d'un vignoble commercial situé dans la région de Fernhill, Hawke's Bay, en Nouvelle Zélande, ont été utilisés. Les fruits ont été

récoltés à la machine à 7h30. 620 kg de fruit sont passés dans un presseur pneumatique à 11h30, à une pression de 1, 3 bar, et un rendement de 400L a été obtenu. Pas de SO₂ n'a été ajouté et le moût a été débourbé à froid à 4°C pendant 24h. 300 mg/L de phosphate diammonique ont ensuite été ajoutés. Le moût présentait un degré Brix de 20, 7, un pH de 3, 28 et 10g/L d'acide tartrique (AT). Chaque vinification a été répliquée trois fois dans des bonbonnes de 25 L. Les microorganismes ont étéensemencés en suivant les conseils du fabricant. Une fois la fermentation alcoolique et la fermentation malolactique achevées, les moûts ont été collés avec de la bentonite, débourbés à froid, soutirés, leur taux en SO₂ libre ajusté à 36 mg/L et ils ont ensuite été mis en bouteille.

Peu de différences ont été relevées entre les souches de bactéries lactiques selon le traitement appliqué (FA/FML simultanées ou séquentielles). Cependant, des différences très importantes ont été notées quant à la durée de la dégradation de l'acide malique selon que les FA et FML ont lieu simultanément ou séquentiellement (voir tableau 7).

	FA/ FML simultanées	FA/ FML séquentielles
EQ54	26 jours	74 jours (résidus)
ALPHA	19.5 jours	68 jours

Tableau 7: Durée jusqu'à la fin de la dégradation de l'acide malique au cours de la vinification d'un moût de Chardonnay avec FA/FML simultanées ou séquentielles.

En condition de FA/FML simultanées et en partant d'une concentration initiale de 5 g/L, la même durée a été nécessaire aux bactéries pour dégrader l'acide malique qu'aux levures pour convertir le sucre en alcool (environ 3 semaines). Lorsque les bactéries malolactiques (BML) ont étéensemencées après la FA, le déclenchement et le déroulement de la FML ont été difficiles et sa durée beaucoup plus longue. Pour le traitement séquentiel avec la EQ54, il restait un résidu d'environ 100 mg/L (Tableau 1).

La production d'acide lactique relevée était proportionnelle à la dégradation de l'acide malique et les concentrations finales étaient similaires dans tous les traitements.

Métabolisme des sucres

En ce qui concerne la dégradation du glucose et du fructose, pas de différence notable n'a été observée entre les deux traitements lors de deux premières semaines. Cependant, 20 jours après que la FA et la FML simultanées ont été terminées, le glucose et le fructose n'étaient pas détectables, tandis qu'il restait un résidu d'environ 700 mg/L de glucose et fructose combinés dans les traitements séquentiels avec les souches ALPHA et EQ54. Le glucose et le fructose pouvant servir de sources de carbone et d'énergie à de nombreux

microorganismes, l'on pense que l'absence totale de glucose et fructose libres accroît la stabilité microbienne.

Métabolisme des acides organiques

La dégradation du citrate a différé selon que la FA et FML étaient simultanées ou non. Dans les traitements simultanés, le citrate a été dégradé plus rapidement et un peu moins d'acétate n'a été produit (Figure 3).

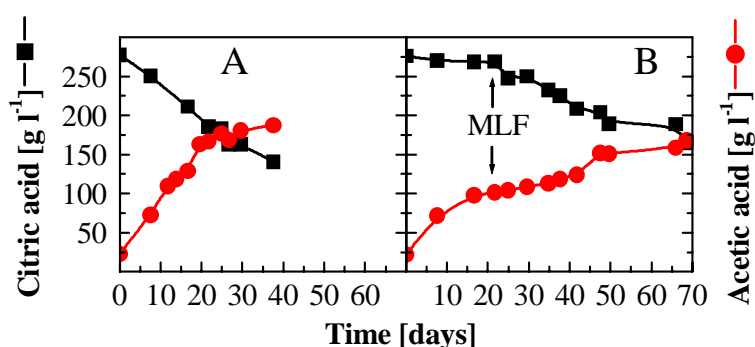


Figure 3: Concentrations en citrate et acétate lors de la vinification d'un moût de Chardonnay avec FA/FML simultanées ou non (souche ML ALPHA). A = FA/FML simultanées ; B = FA/FML séquentielles

Il faut noter toutefois que les différences entre les concentrations en acide acétique finales étaient faibles et uniquement significatives pour la souche ML EQ54 d'un point de vue statistique (Tableau 8).

	FA/ FML simultanées	FA/ FML séquentielles
EQ54	0,195	0,147
ALPHA	0,187	0,168

Tableau 8: Concentrations finales en acétate (g/L) dans un Chardonnay produit avec FA/FML soit simultanées soit séquentielles avec les souches ML ALPHA et EQ 54.

Evaluation sensorielle

De nombreux essais ont été réalisés afin d'évaluer les différences sensorielles selon les traitements appliqués. L'évaluation sensorielle a fait apparaître de petites différences entre les vins selon le moment où les bactéries sontensemencées (plus de caractère fruité avec la co-inoculation), mais peu ou pas de différences n'ont pu être imputables à la souche ML utilisée.

Les résultats dans le Chardonnay néo-zélandais montrent que le déclenchement simultané de la FA et de la FML peut faire gagner un temps considérable dans la production des vins. Du fait de la possibilité d'ajouter plus précocement du SO₂ dans les vins, et de l'absence de fructose et de glucose libres dans les vins traités avec la FA/FML simultanées, l'on pense que les vins produits avec cette technique seront plus stables du point de vue microbiologique.

Il faut surtout souligner, qu'aucun argument contre l'utilisation de la technique consistant à déclencher la FA et la FML simultanément dans des moûts blancs, à faible pH, n'a été trouvé.

Conclusion

Si ensemercer précocement est encore considéré comme étant trop risqué, alors il faudra considérer l'utilisation de Lysozyme. Dans des conditions optimales de croissance bactérienne, tels que pH élevé, baies très mûres ou moisies, températures de 22°C environ, un ajout précoce de Lysozyme (500 mg/L) pourra réduire la quantité de bactéries lactiques non désirées et aidera à porter à son terme la fermentation alcoolique. La FML peut être déclenchée plus tard, vers la fin de la fermentation alcoolique (Figure 4).

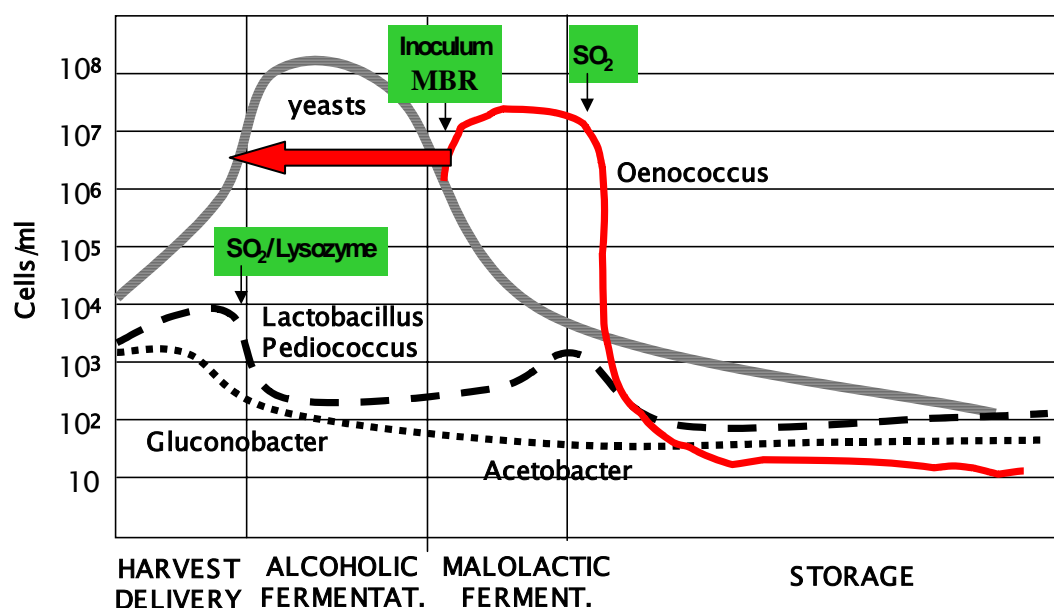


Figure 4: Fermentation malolactique contrôlée