

## Use of fumaric acid on must or during alcoholic fermentation

François Davaux<sup>1</sup>, Philippe Cottereau<sup>2</sup> et Stéphane La Guerche<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut Français de la Vigne et du Vin, 1920 route de Lisle sur Tarn, 81310 Peyrole, France

<sup>2</sup> Institut Français de la Vigne et du Vin, 7 avenue Cazeaux, 30230 Rodilhan, France

<sup>3</sup> OENOPPIA, 21-23 rue Croulebarbe, 75013 Paris, France

**Abstract.** Fumaric acid has been approved by the OIV in 2021 for its application on wine to control the growth and activity of lactic acid bacteria. Fumaric acid is currently being evaluated by the OIV as an acidifier of must and wine. Investigations during the 2023 vintage provided further information on its use on must or during AF, thus completing information provided during the previous vintage. After fermentation, fumaric acid disappears almost completely, and only a portion is recovered in the form of malic or lactic acid (depending on the occurrence or not of malolactic fermentation). It may be that the yeast central carbon metabolism is modified by this addition. These trials were carried out to compare the impact of the moment of addition on must or during AF, with yeasts having different malic acid utilization rates. Due to the low solubility of fumaric acid, all acidifications were carried out at a relatively low dose of 20 meq/L (1.2 g/L fumaric acid). Under these conditions of use, acidification is low compared to other acids, and for a harvest low in initial malic acid, alcoholic fermentation duration increases with the addition of fumaric acid. The antibacterial effect of fumaric acid on lactic bacteria was also demonstrated.

### 1. Introduction

Depuis une quarantaine d'années, en raison du réchauffement climatique, les acidités des vins chutent régulièrement avec une augmentation du pH [1].

Dans les zones méridionales notamment, les changements climatiques s'accompagnent généralement d'un excès de maturité qui conduit à l'élaboration de vins trop alcoolisés et peu acides. La réglementation Européenne permet d'acidifier les moûts et les vins dans la limite de 53 meq/L soit 4g/L exprimé en acide tartrique. Seuls trois acides, l'acide tartrique, l'acide lactique et l'acide malique sont utilisés. L'OIV travaille sur la possibilité d'introduire l'acide fumarique en tant qu'acidifiant en moût et en vin. Cet acide a été admis par l'OIV sur vin afin d'inhiber la fermentation malolactique, en maîtrisant la croissance et l'activité des bactéries lactiques avec des doses recommandées entre 300 et 600 mg/L.

L'acide fumarique est un intermédiaire clé de cycle de Krebs, qui existe chez tous les organismes aérobies, mais

qui fonctionne néanmoins partiellement en conditions anaérobie. Seules des traces de cet acide sont retrouvées dans les moûts et les vins [2].

Dans nos essais réalisés sur le millésime 2022, nous avons pu valider la disparition pratiquement totale de l'acide fumarique ajouté en cours de fermentation alcoolique, les concentrations sur vins finis étant toujours inférieures à 250 mg/L. Il a été observé un enrichissement en acide malique sur les vins blancs (sans fermentation malolactique) et en acide lactique sur les vins rouges en comparaison avec les témoins non acidifiés. L'acide fumarique apporté et consommé n'a pas été pas retrouvé de manière stœchiométrique en acide malique ou lactique produit, ce qui peut s'expliquer par l'implication de l'acide malique dans de nombreuses voies métaboliques [2].

La solubilité de cet acide est très basse entre 6,6 et 8,1 g/L dans l'eau à environ 25°C, 5,8 g/L dans une solution éthanol à 12,6 % vol soit plus de 210 fois plus faible que les autres acides. Pour les ajouts sur moût, la dose relativement faible de 20 meq/L (1,2 g/L) a été choisie pour les essais sur le millésime 2023 [3][4].

Les essais réalisés en 2023 ont permis de comparer dans un essai multifactoriel de laboratoire, 3 souches de levures avec des métabolismes différents vis à vis de l'acide malique, le moment de l'acidification sur moût ou en cours de FA, le niveau d'azote assimilable initial et 2 niveaux initiaux à la récolte de concentration en acide malique. En parallèle, des minivinifications en conditions standards sur des volumes plus conséquents ont permis des comparaisons avec des références d'acidification autorisées et permettant une appréciation sensorielle.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Protocoles

#### 2.1.1. Essais Laboratoire (microvinifications 200ml)

Les essais ont été réalisés au laboratoire de l'IFV (Institut Français de la Vigne et du Vin) basé à Rodilhan dans le Gard, sur deux vendanges présentant des concentrations en acide malique naturel très différentes (Tableau 1).

Schéma protocole essais laboratoire

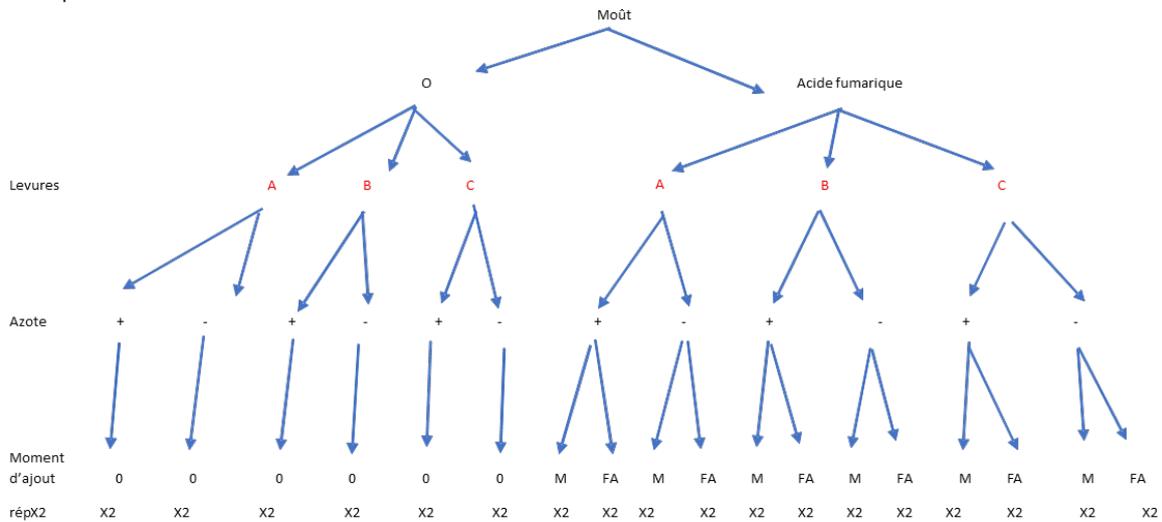


Figure 1. Schéma du protocole – Essais laboratoire – millésime 2023.

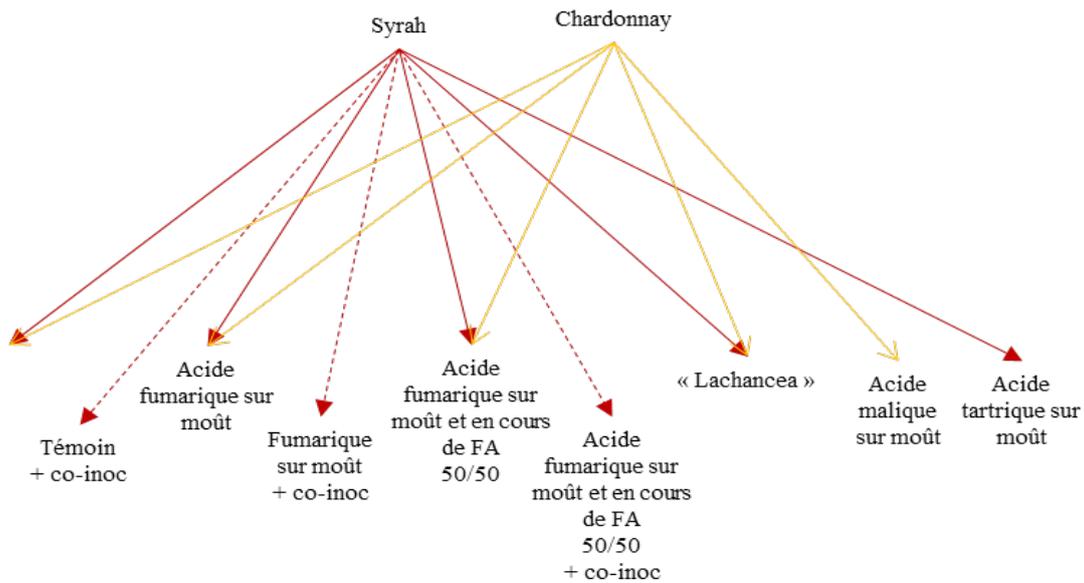


Figure 2. Schéma du protocole – Essais chai expérimental – millésimes 2023.

Co-inoc : Co-inoculation levures/bactéries, une souche sélectionnée de *L. plantarum* a étéensemencée 24h après l'ajout de la levure sélectionnée de fermentation.

L'objectif de ces essais était de comparer l'ajout d'acide fumarique sur moût avant fermentation alcoolique ou en cours de fermentation alcoolique, pour trois souches de levures (A souche fortement démaliquante, B souche intermédiaire et C souche maliquante dans certaines conditions), avec deux niveaux de richesse en azote assimilable, tous les lots étant répétés (Figure 1)

Pour les différentes modalités, 200 ml de moût débourbé sont vinifiés en erlenmeyer de 250ml à 18°C. Les acidifications sont réalisées avant levurage ou en cours de la fermentation alcoolique à une concentration en acide fumarique de 1,2 g/L (PM 116 g/mole, soit 20 meq/L).

Pour la gestion de l'azote assimilable, un ajout de 20 g/hl du nutriment complexe Nutristart® est réalisé avant levurage sur toutes les modalités, un ajout de 100mg/L d'azote sous forme de DAP est ensuite réalisé avant levurage sur les modalités « azote + ». Le suivi de fermentation est effectué par la pesée des flacons chaque jour, avec une agitation pour remettre en suspension l'ensemble des lies. La fin FA correspond à un arrêt de la perte de poids et les échantillons sont alors soutirés et centrifugés (5 mn à 6800g). 150 ml de surnageant de chaque modalité sont récupérés et sulfités à 10 g/hl de SO<sub>2</sub> et placés au froid pour une stabilisation tartrique (0°C 15 jours). Les échantillons sont ensuite soutirés à froid et conservés à 12°C avant les analyses physicochimiques.

**Tableau 1.** Caractéristiques des moûts des essais réalisés en microvinification.

Date	13/09/2023	27/08/2023
Stade	Débourbage	Débourbage
Cépage	Grenache Noir	Sauvignon Blanc
Sucres g/L	231,9	192,8
pH	3,59	3,41
AT gH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /L	2,2	3,58
Malique g/L	<b>0,81</b>	<b>2,5</b>
Nass mg/L	172	210
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/L	75	70
NOPA mg/L	97	140

### 2.1.2. Essais chai expérimental (minivinification 40L)

Deux essais en volume d'environ 40L ont été réalisés en conditions représentatives d'une vinification traditionnelle. Ce volume permet une évaluation sensorielle des vins obtenus.

Un essai en blanc est réalisé sur Chardonnay (Tableau 2). Un témoin sans acidification est comparé à 2 lots acidifiés par ajout d'acide fumarique à la dose de 20 meq/L, soit en totalité avant levurage soit réparti en 10meq/L avant levurage et 10meq/L en cours de fermentation. En parallèle, une modalité est acidifiée avec de l'acide malique à la dose de 20 meq/L ajouté avant levurage, et une modalité estensemencée avec une souche sélectionnée de *Lachancea thermotolerans* 24h avant le

ensemencement de la souche sélectionnée de *S. cerevisiae* (souche B).

Les 5 cuves ont été remplies avec un moût de chardonnay débourbé, issu d'une cuvée d'une cave gardoise partenaire. Les levurages des lots ont été réalisés dans les mêmes conditions (20g/hl) à l'exception du lot « Lachancea » où le levurage avec la souche B a été décalé de 24h. Les cuves fermentent dans une chambre thermorégulée à 18°C. Les ajouts d'azote sont identiques pour tous les lots, ils sont réalisés au tiers de la fermentation au cours du remontage avec aération (20 g/hl du nutriment complexe Nutristart®). Un suivi de la densité est réalisé quotidiennement. Les lots ont été soutirés quand la densité n'évoluait plus et ont été sulfités à 7 g/hl puis placés à 12°C. Pour assurer la stabilité tartrique des vins, tous les lots ont subi un passage au froid à 0°C pendant 15 jours. Les vins ont ensuite été soutirés à froid et filtrés sur cartouche 5µm et 0,65µm en série. Les vins ont été ajustés en SO<sub>2</sub> et mis en bouteille (chaîne GAI MLE 441).

Un second essai en rouge a été réalisé (Tableau 2), les modalités étant globalement les mêmes que sur le l'essai en blanc. L'ajout d'acide malique est remplacé par de l'acide tartrique, toujours à la dose de 20 meq/L. En complément, pour cet essai en rouge, trois modalités ont été co-inoculés en bactéries lactiques sélectionnées (24h après le levurage avec ML Prime™) sur le témoin et les deux modalités avec l'ajout d'acide fumarique. Après pressurage et fin de fermentation alcoolique, les vins sont soutirés etensemencés en bactéries lactiques sélectionnées (LALVIN VP41™) pour les lots non-co-inoculés. Une fois la fermentation malolactique terminée, les modalités sont soutirées, sulfitées à 5 g/hl et placées à 12°C. Le traitement tartrique est réalisé avec un passage au froid 0°C pendant 15 jours. Les vins sont ensuite soutirés à froid et filtrés sur cartouche 5µm et 0,65µm en série, puis ajustés en SO<sub>2</sub> et mis en bouteille (chaîne GAI MLE 441).

**Tableau 2.** Caractéristiques des moûts des essais réalisés au chai expérimental.

Date	13/09/2023	27/08/2023
Stade	Débourbage	Encuvage
Cépage	Chardonnay	Syrah
Sucres g/L	240	220.8
pH	3,30	3,44
AT gH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /L	4.05	5.17
Malique g/L	<b>1,5</b>	<b>3,4</b>
Nass mg/L	172	220
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/L	84	80
NOPA mg/L	140	140

## 2.2. Paramètres suivis

Toutes les analyses classiques œnologiques ont été réalisées par le laboratoire de l'IFV de Lisle sur Tarn et les acides organiques dosés par le laboratoire Dubernet.

Le degré alcoolique est déterminé par un Alcoolyzer Wine M (Anton Paar), l'acidité totale (g/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), le pH et le SO<sub>2</sub> libre et total par un titrateur automatique Titrilab AT1000 Series (Hach). Les mesures de couleur, IC', coordonnées tristimulaires, l'IPT sont réalisées sur un spectrophotomètre UV/Visible Nicolet évolution 100 (Thermo electron Corporation, USA).

Les analyses d'acides organiques (tartrique, malique, citrique, succinique, lactique, gluconique) ont été réalisées par électrophorèse capillaire et détection UV selon la méthode OIV-MA-AS313-19.

L'acide fumarique a quant-à lui été analysé par UPLC-MSMS selon une méthode interne afin d'atteindre une limite de quantification suffisamment basse (10mg/L).

Les tests statistiques ont été réalisés avec le logiciel XLSTAT Basic+.

Les profils sensoriels des vins des essais minicuverie ont été établis par un jury de professionnels.

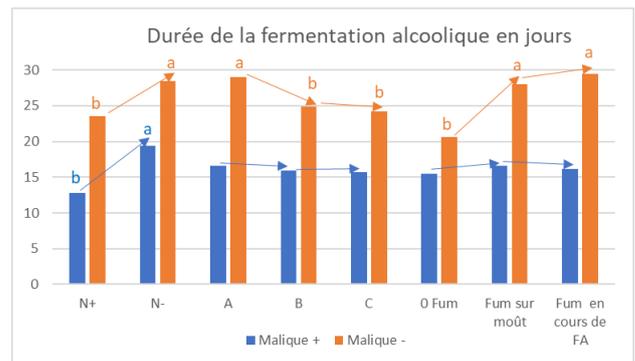
### 3. Résultats

Les ajouts d'acides étant tous identiques, soit 20 meq/L, les résultats sont présentés en variation de meq/L par rapport au vin témoin sans ajout. Seules les analyses sur les vins stabilisés en bouteille sont discutées.

#### 3.1. Essais laboratoire

##### 3.1.1. Impact sur la fermentation alcoolique

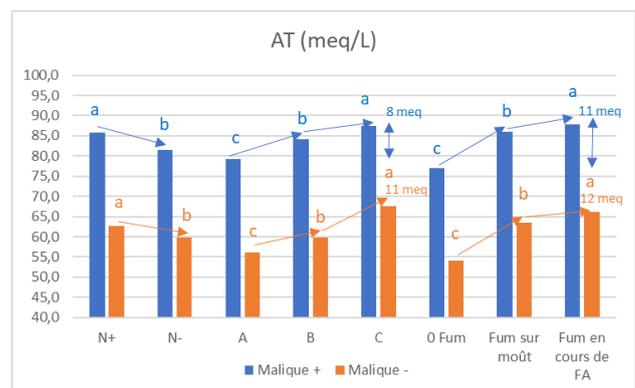
Il existe un effet attendu de l'ajout de compléments azotés avec une diminution significative de la durée de fermentation pour les deux moûts. Il existe ensuite un effet de la souche de levure ayant fermenté, mais uniquement sur la vendange à TAP le plus élevé, qui est aussi celle ayant le niveau d'acide malique le plus bas, avec une durée de FA significativement plus importante pour la souche A, fortement démaliquante. L'ajout d'acide fumarique entraîne des augmentations significatives de la durée de FA sur moût de grenache. En regardant en détail les différentes modalités, pour cette vendange la durée de FA est supérieure en cas d'addition d'acide fumarique pour toutes les levures et quel que soit le niveau d'azote assimilable. Pour la vendange à TAP moins élevé et plus riche en malique, l'ajout d'acide fumarique entraîne une augmentation de la durée de la FA seulement pour la souche B en condition d'azote assimilable au niveau le plus faible.



**Figure 3.** Valeur moyenne de la durée de fermentation alcoolique selon les différents paramètres modulés - essais laboratoire – Vendange à forte concentration initiale en acide malique (malique + / sauvignon) et à faible concentration en acide malique (malique - / grenache).

##### 3.1.2. Impact sur l'acidité totale et le pH

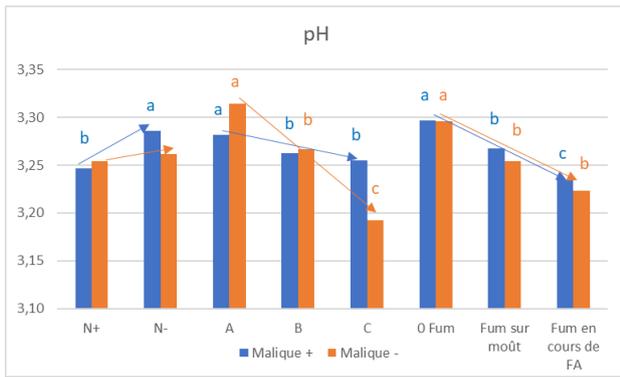
Il existe un gain d'acidité totale faible mais significatif avec l'ajout d'azote assimilable, notamment pour la vendange malique + (sauvignon). Les 3 souches de levures entraînent des acidités totales significativement différentes en lien avec leur pouvoir démaliquant ou maliquant, comme attendu, avec un effet un peu plus marqué pour la vendange avec peu d'acide malique (de A à C + 8 meq/L et + 11 meq/L).



**Figure 4.** Valeurs moyennes des acidités totales en fin de FA/FML selon les différents paramètres modulés- essais laboratoire – Vendange malique - / sauvignon et malique + / grenache.

L'ajout d'acide fumarique à la dose de 20 meq/L entraîne sur les deux vendanges des augmentations d'AT de l'ordre de 11-12 meq/L. Même si les concentrations sont proches, il existe une différence significative entre l'ajout sur moût et en cours de FA.

Pour les pH, les variations sont corrélées avec les effets des différentes modalités sur l'acidité totale. L'effet « levure » sur la vendange grenache est plus important entre la souche A et C que pour la vendange sauvignon. L'ajout d'acide fumarique en cours de FA entraîne des différences de pH plus faibles que l'effet levure dans le cas de la vendange grenache.

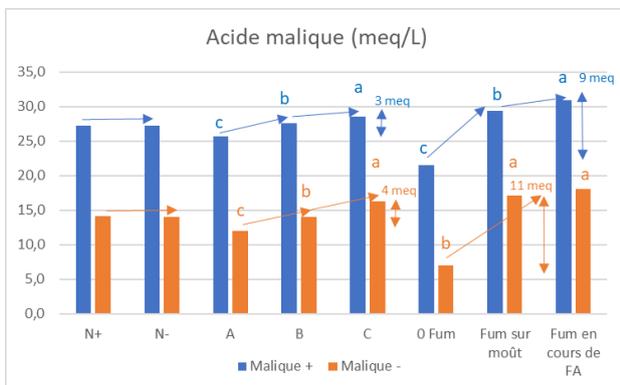


**Figure 5.** Valeur moyenne de pH en fin de FA/FML selon les différents paramètres modulés - essais laboratoire – Vendange malique - / grenache et malique + / sauvignon.

### 3.1.3. Impact sur les concentrations en acides organiques

#### – Acide malique

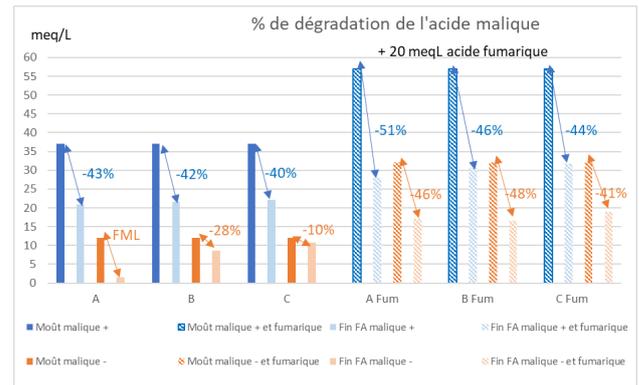
Globalement l'effet « levure » entre les souches A, B et C se retrouve sur les deux vendanges avec des variations moyennes maximum de 3 meq/L. L'ajout d'acide fumarique, transformé en acide malique par la levure entraîne une augmentation de la concentration en acide malique de 9 meq/L en moyenne pour la vendange sauvignon et un peu plus, 11 meq/L pour la vendange grenache.



**Figure 6.** Valeur moyenne en acide malique en fin de FA/FML selon les différents paramètres modulés - essais laboratoire – Vendange malique - / grenache et malique + / sauvignon.

On ne retrouve pas les 20 meq/L apportés en acide fumarique, indiquant que d'autres produits sont concernés par la transformation de l'acide fumarique.

Il est possible de mesurer un taux de consommation de l'acide malique lors de la fermentation alcoolique. Pour les modalités concernées par l'ajout d'acide fumarique, la concentration est celle du moût, augmentée de 20 meq/L, en considérant que ces 20 meq/L d'acide fumarique correspondent à 20 meq/L d'acide malique potentiel.



**Figure 7.** Pourcentage de consommation de l'acide malique en cours de fermentation alcoolique selon les paramètres modulés - essais laboratoire – Vendange malique - / grenache et malique + / sauvignon.

Pour la vendange sauvignon « malique + », ce taux est comme attendu d'autant plus important que la levure est consommatrice (A<B<C). Avec l'ajout de fumarique, ce taux augmente un peu globalement mais l'ordre est maintenu. Pour la vendange grenache très faiblement concentrée en acide malique, les taux de consommation d'acide malique sont plus faibles pour toutes les levures mais l'ordre est aussi maintenu.

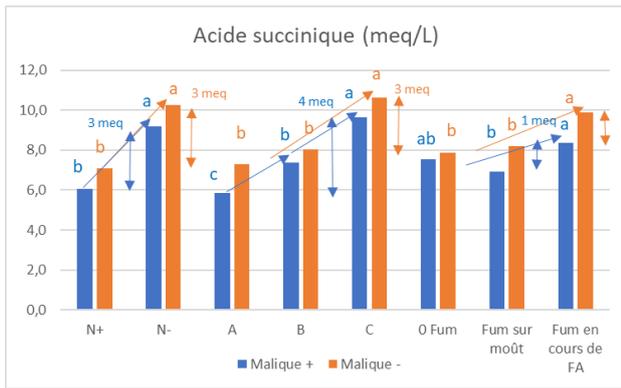
Il y a eu en fait une fermentation malolactique pour les vins sans ajout d'acide fumarique avec la souche A. En présence d'acide fumarique, on retrouve des taux de consommation assez proches de ceux observés sur la vendange « malique + » avec un taux plus faible chez la souche C.

#### – Acide lactique

Il n'existe pas d'effet sur cet acide avec les facteurs étudiés, à l'exception des vins de la souche A sans ajout d'acide fumarique qui ont réalisé la FML avant la fin de FA, uniquement avec la vendange grenache faiblement concentrée en acide malique. Ceci montre que l'acide fumarique a eu un effet antibactérien dans ces conditions.

#### – Acide succinique

Les effets étudiés sont tous significatifs. Les lots avec moins d'azote ont des concentrations plus importantes en acide succinique. La souche A produit plus d'acide succinique que la souche B et que la souche C. L'ajout d'acide fumarique par contre n'entraîne qu'une très faible augmentation de la concentration et surtout avec l'ajout de l'acide en cours de FA.



**Figure 8.** Valeurs moyennes de d'acide succinique en fin de FA/FML selon les paramètres modulés - essais laboratoire – Vendange malique - / grenache et malique + / sauvignon.

En cumulant les variations de concentration en meq/L de l'acide malique et de l'acide succinique, on retrouve l'augmentation en meq/L de l'acidité totale.

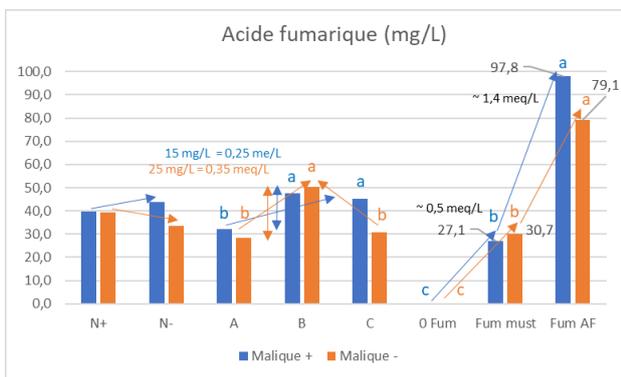
– **Acides tartrique, citrique, gluconique**

Pour ces acides, il n'est pas identifié d'effet par les facteurs étudiés. Les concentrations entre les vins de chacune des vendanges sont très peu modifiées.

– **Acide fumarique**

L'ajout d'acide fumarique conduit à la présence de petite quantité d'acide fumarique sur vin fini. L'analyse par HPLC est très précise avec une limite de quantification à 10 mg/L.

L'ajout d'acide fumarique en cours de FA entraîne la présence plus importante de ce dernier en fin de FA. Ces concentrations restent particulièrement faibles et ne dépassent jamais 140 mg/L (2,5 meq/L), la moyenne générale pour l'ensemble des 72 vins (2x36) étant de 40 mg/L soit moins de 1 meq/L.



**Figure 9.** Valeurs moyennes de la concentration en acide fumarique en fin de FA/FML selon les paramètres modulés - essais laboratoire – Vendange malique - / grenache et malique + / sauvignon.

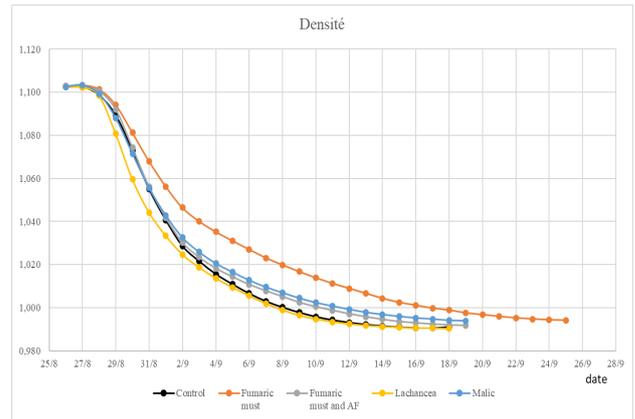
Dans les deux types de vendange, la souche B en moyenne donne les concentrations finales en acide fumarique légèrement plus fortes que les 2 autres souches notamment pour la vendange grenache. Ces écarts sont

faibles et de l'ordre de 15 à 25 mg/L soit 0,25 à 0,35 meq/L.

**3.2. Essai en chai expérimental – vinification en blanc : Chardonnay**

**3.2.1. Impact sur la fermentation alcoolique**

Malgré une vendange peu carencée en azote assimilable et bien complétementée, la modalité « fumarique sur moût » fermente très lentement par rapport aux autres modalités.

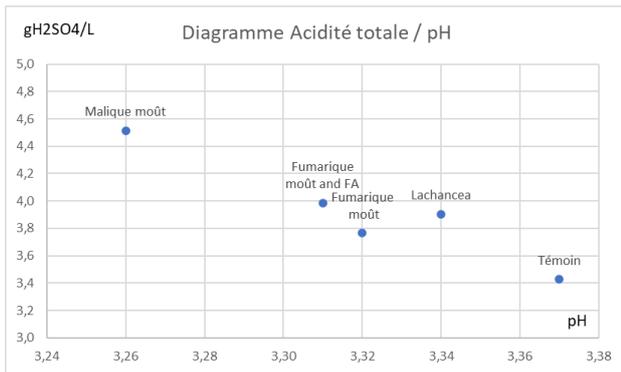


**Figure 10.** Evolution de la densité au cours de la fermentation alcoolique – essais chai expérimental – Chardonnay.

La modalité « acide fumarique sur moût et en cours de FA (50/50) » et la modalité « malique sur moût » présentent aussi des fermentations plus difficiles que le témoin et la modalité « Lachancea ». Les vins acidifiés chimiquement présentent aussi des sucres résiduels en fin de fermentation alcoolique. Il n'existe pas de différence concernant l'acidité volatile qui reste acceptable pour toutes les modalités (<0,5 gH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/L).

**3.2.2. Impact sur l'acidité totale et le pH**

Toutes les modalités présentent des acidités totales plus importantes que le témoin. Le pH est logiquement plus faible pour ces lots acidifiés. Les variations en pH sont modestes par rapport à la variation en acidité totale. L'acidification avec acide malique à 20 meq/L (1,3 g/L) entraîne une augmentation d'acidité totale en g exprimée en acide sulfurique de 1 g/L, alors que les ajouts d'acide fumarique à 20 meq/L (1,2 g/L) n'entraînent la variation d'acidité totale que de 0,4 à 0,6 g/L pour l'addition en deux fois. L'utilisation de la souche sélectionnée de *Lachancea thermotolerans* entraîne un même niveau d'acidité et de pH par rapport au témoin.

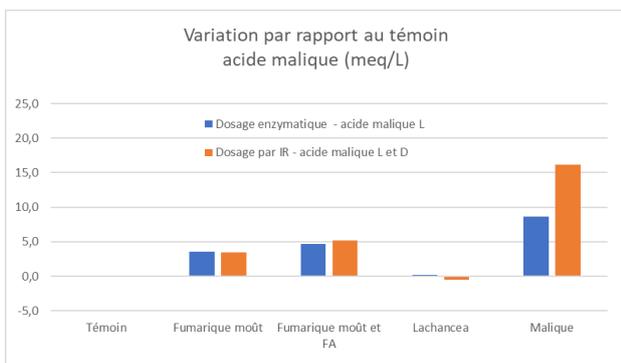


**Figure 11.** Variation de l'acidité totale et du pH en fin de FA/FML - essais chai expérimental – Chardonnay.

### 3.2.3. Impact sur les concentrations en acides organiques

Ces variations d'acidité totale sont expliquées par les variations de l'acide malique sauf pour la modalité concernant celles ayant étéensemencées avec la souche sélectionnée de *Lachancea thermotolerans*. L'ajout d'acide malique racémique est un ajout de la forme L et D, alors que la levure transforme l'acide fumarique uniquement en L-malique. Sur les vins stabilisés, on ne retrouve en final qu'environ 5 meq/L d'acide malique en plus par rapport au témoin pour les 20 meq/L ajoutés. Pour l'ajout d'acide malique, l'augmentation finale en acide malique est de 16 meq/L.

Pour la modalité « Lachancea », l'augmentation d'acidité n'est pas liée uniquement à l'acide lactique attendu, mais sans doute à plusieurs petites contributions (acides lactique, succinique, citrique ...).



**Figure 12.** Variation de la concentration en acide malique - essais chai expérimental – Chardonnay.

Les acides lactique, tartrique, succinique, citrique, gluconique dosés ne varient pas significativement par rapport au témoin (< 2 meq/L).

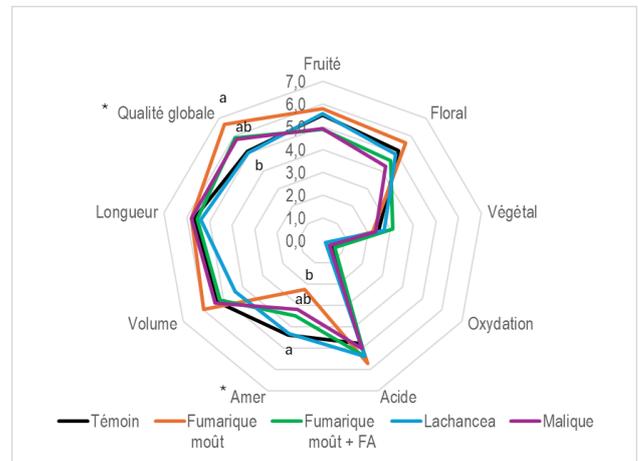
### 3.2.4. Acide fumarique

L'acide fumarique est retrouvé exclusivement dans les modalités acidifiées avec cet acide, mais à des concentrations très faibles et inférieures à 1 meq/L (37

mg/L pour l'acidification en 2 fois et 43 mg/L pour l'acidification en 1 fois sur moût).

### 3.2.5. Effet sur la dégustation

La dégustation descriptive a été réalisée par un panel de professionnels 1 mois après la mise en bouteille.



**Figure 13.** Profil sensoriel - essais chai expérimental – Chardonnay.

Deux descripteurs atteignent le seuil de significativité à 5%. La modalité Fumarique sur moût est significativement moins amère que les modalités témoin et « Lachancea », les autres modalités étant intermédiaires. Ces mêmes groupes sont retrouvés pour la qualité globale, avec une préférence significative pour la modalité fumarique sur moût par rapport au témoin et à la modalité « Lachancea », les autres lots étant intermédiaires.

## 3.3. Essai en chai expérimental – vinification en Rouge : Syrah

### 3.3.1. Impact sur la fermentation alcoolique

Aucun impact de l'ajout d'acide fumarique sur la fermentation alcoolique n'est à signaler lors de cet essai.

Au niveau de la fermentation malolactique en lien avec la co-inoculation réalisée sur 3 des modalités, un effet antibactérien de l'utilisation d'acide fumarique est mis en évidence.

L'acidification en 1 fois sur moût entraîne la non-réalisation de la FML pour cette modalité, tout comme celleensemencée avec *Lachancea thermotolerans*. L'utilisation fractionnée entraîne une fermentation malolactique incomplète alors que la FML est totalement réalisée sur le témoin co-inoculé (Tableau 2).

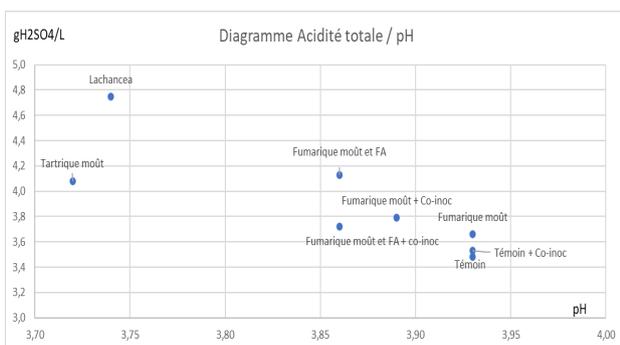
Tous les lots n'ayant pas réalisé leur FML ou de façon incomplète ont étéensemencés avec une bactérie lactique sélectionnée (LALVIN VP41<sup>TM</sup>) par la suite. Dans tous les cas, la fermentation malolactique s'est déroulée rapidement et sans problème (données non montrées).

**Tableau 3.** Concentration en acide L-malique et L-lactique en fin de fermentation alcoolique - essais chai expérimental – Syrah.

Modalités	Acide malique g/L	Acide lactique g/L
Témoin	3,3	<0,3
Témoin + co-inoculation	<b>0,0</b>	<b>2,1</b>
Fumarique Moût	3,4	<0,3
Fumarique Moût + co-inoculation	<b>3,0</b>	<b>&lt;0,3</b>
Fumarique Moût et mi FA	3,4	<0,3
Fumarique Moût + mi-FA + co-inoculation	<b>1,8</b>	<b>1,0</b>
Lachancea	<b>2,8</b>	<b>1,5</b>
Tartrique Moût	3,2	<0,3

### 3.3.2. Impact sur l'acidité totale et le pH

Toutes les modalités ont des acidités totales plus importantes que le témoin, mais proches pour celles avec ajout d'acide fumarique et d'acide tartrique. L'acidité totale de la modalité « Lachancea » est significativement plus élevée (synthèse d'acide lactique par *Lachancea thermotolerans*). Le pH est logiquement plus faible pour les lots acidifiés par rapport au témoin, mais les variations sont très faibles pour les modalités avec ajout d'acide fumarique et plus fortes dans le cas de l'ensemencement avec *L. thermotolerans* ou l'ajout d'acide tartrique (proche de +0,3 unité de pH).



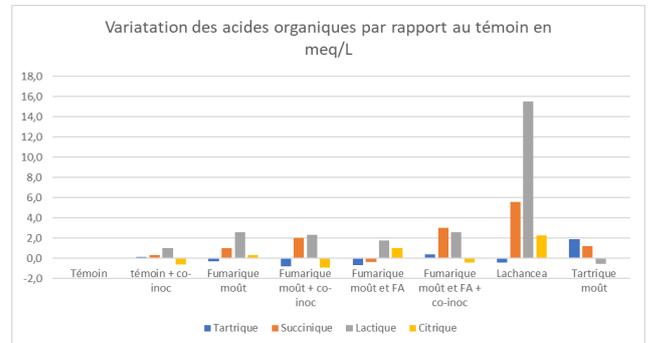
**Figure 14.** Variation de l'acidité totale et du pH - essais chai expérimental – Syrah.

### 3.3.3. Impact sur les concentrations en acides organiques

Les variations d'acidité totale sur vins stabilisés sont expliquées par la variation de différents acides en fonction des modalités.

Il existe des variations en acide lactique liées à l'ajout d'acide fumarique (transformation en acide malique par les levures de la FA et en lactique par la fermentation malolactique). Ces variations par rapport au témoin restent

cependant très faibles, de 2 à 3 meq/L (180 à 240 mg/L), loin de l'ajout de 20 meq/L d'acide fumarique. Pour la modalité « Lachancea », l'acide lactique est bien plus présent +15 meq/L par rapport au témoin. Pour l'acide tartrique, la concentration dans le vin stabilisé pour cette modalité légèrement plus importante mais la précipitation tartrique (perte de K<sup>+</sup>) a permis d'obtenir un pH plus acide.



**Figure 15.** Variation des acides organiques - essais chai expérimental – Syrah.

L'acide succinique est plus important dans les modalités concernées par l'ajout d'acide fumarique, et plus particulièrement dans le cas des co-inoculations avec ML Prime (augmentation faible + 2 à 3 meq/L).

L'augmentation est plus importante dans la modalité « Lachancea » (+5,5 meq/L) chez qui l'acide citrique est aussi un peu plus élevé que pour les autres modalités (+ 2 meq/L).

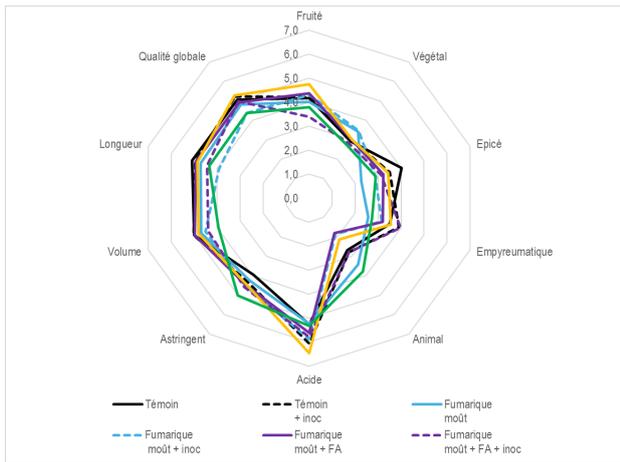
### 3.3.4. Acide fumarique

Pour cet essai, seule la modalité avec ajout d'acide fumarique sur moût et sur FA sans co-inoculation présente une concentration à la limite de détection (10 mg/L).

### 3.3.5. Effet sur la dégustation

La dégustation descriptive a été réalisée par un panel de professionnels 1 mois après la mise en bouteille.

Aucune différence significative à 5%, n'est mise en évidence. Avec un risque alpha élevé, des petites différences semblent exister notamment par rapport au descripteur « animal » (quasi significatif), avec des notes élevées pour les modalités « fumarique » sur moût et « tartrique ».



**Figure 16.** Profil sensoriel - essais chai expérimental – Syrah.

En bouche, un caractère plus marqué de l'acidité est détecté lorsque *Lachancea thermotolerans* a été ensemencée, en lien avec les analyses physico-chimiques, mais sans atteindre le seuil de significativité à 5%.

Qualitativement aucune préférence n'est mise en évidence.

#### 4. Conclusions

L'acidification par l'ajout d'acide fumarique sur moût ou pendant la FA est significativement moins efficace que l'ajout d'acide tartrique sur rouge et d'acide malique sur blanc, pour une même addition équivalente d'acide, tant en acidité totale qu'en pH.

Un effet bactéricide de l'acide fumarique est observé dans ces essais (comme démontré par d'autres études).

L'acide fumarique, ajouté sur le moût ou le moût/pendant la FA, peut empêcher totalement ou partiellement la FML de se produire ; même lorsque des ferments lactiques sont utilisés en co-inoculation (*L. plantarum*).

Des difficultés de fermentation alcoolique ont été démontrées dans les différents tests sur moûts blancs. Cet effet devra être confirmé avec des concentrations plus élevées d'acide fumarique.

En dégustation, à ce niveau d'acidification des vins de Syrah, la note d'acidité la plus élevée est attribuée à la modalité pour laquelle pour la souche *Lachancea thermotolerans* a été utilisée. Les autres descripteurs ne sont pas significatifs

Pour le Chardonnay, les vins dans lesquels l'acide fumarique ou l'acide malique a été ajouté sur moûts sont moins amers que le témoin et la modalité « *Lachancea* ». Ces vins sont préférés par le jury.

Pour les deux vins (blanc et rouge), aucune différence significative n'a été trouvée pour les descripteurs olfactifs.

#### 5. Références

- Escudier, J.L., Bes, M., Salmon, J.M., Caillé, S., Samson, A. (2014). Stress hydrique prolongé des vignes : comment adapter les pratiques œnologiques en conséquence ? *Innovations Agronomiques*, INRA, 38, 67-86 <https://www.researchgate.net/publication/341754158>
- Romero, E. G., Muñoz, G. S., Alvarez, P. M., & Ibanez, M. C. (1993). Determination of organic acids in grape musts, wines and vinegars by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 655(1), 111-117. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(93\)87018-H](https://doi.org/10.1016/0021-9673(93)87018-H)
- Peltier, E., Vion, C., Saada, O.A., Friedrich, A., Schacherer, J., & Marullo, P. (2021). Flor yeast rewire the central carbon metabolism during wine alcoholic fermentation. *Frontiers in Fungal Biology*, 2, 733513. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2021.733513>
- Dang, L., Du, W., Black, S., & Wei, H. (2009). Solubility of fumaric acid in propan-2-ol, ethanol, acetone, propan-1-ol, and water. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 54(11), 3112-3113. <https://doi.org/10.1021/jc9001637>
- Yang, W., Jiang, X., Hu, Y., Shi, Y., Sun, H., & Li, Y. (2013). Solubility of fumaric acid in aqueous alcohol solutions. *Journal of Solution Chemistry*, 42(8), 1591-1601. <https://doi.org/10.1007/s10953-013-0059-x>