

Characterization of a strain of *Lachancea thermotolerans*, a microorganism of choice face to climate challenges in the wine sector

Caroline Bonnefond¹, Lucile Pic¹, José-Maria Heras², Antonio Morata³ and Daniel Granès¹

¹ Groupe ICV, La Jasse de Maurin, 34970 Lattes - FRANCE

² Lallemand Iberica, c/Tomás Edison n° 4, Bloque 2, Oficina 222628521 Rivas-Vaciamadrid Madrid SPAIN

³ EnotecUPM, Dept. Chemistry and Food Technology, ETSIAAB, Universidad Politécnica de Madrid, 208040 Madrid, SPAIN

Abstract. This article presents the in-depth study of a strain of *Lachancea thermotolerans* on matrices typical of the French Mediterranean basin. This strain, selected by the Polytechnic University of Madrid (UPM), offers, thanks to its production of lactic acid, an innovative natural solution to the lack of acidity in wines, bringing "freshness" to the cuvées concerned. The characterization of this strain focused on several key aspects such as its tolerance to temperature and SO₂, its requirements and its consumption of assimilable nitrogen, the effect of adding a yeast rehydration nutrient product to optimize its fermentation performance and its impact on analytical parameters in vinification. A sensory evaluation (by expert jury and measurements of key aromatic molecules) was conducted to determine the gustatory and olfactory impact on wines partially fermented with this strain. This study highlights the interest of the particularly beneficial use of this strain for the valorization of wines from white and rosé presses or thermovinification with high pH. To conclude, it presents the work in progress to develop a predictive model of lactic acid production by this strain, taking into account environmental characteristics such as pH, SO₂, must temperature and vinification processes.

1. Introduction

La viticulture est aujourd'hui confrontée à des défis sans précédent dus aux changements climatiques. L'augmentation des températures, les régimes de précipitations aléatoires couplés à des épisodes de sécheresse ou de chaleur extrême deviennent plus fréquents. Ces bouleversements impactent directement la qualité des raisins, augmentent leur teneur en sucre et réduisent leur acidité, ce qui entraîne des vins plus riches en alcool et moins équilibrés [1-2]. En réponse à ces défis une des solutions réside dans l'utilisation de levures non-*Saccharomyces*, telles que l'espèce *Lachancea thermotolerans* (LT), qui a la capacité de produire naturellement de l'acide lactique durant ou avant la fermentation alcoolique (FA) à partir des sucres du moût [3].

Ces auteurs ont observé une grande diversité au sein de *L. thermotolerans* quant à sa production d'acide lactique, sa résistance à la température et au SO₂. Les niveaux d'acide lactique produit peuvent varier de 1 à 16 g/L [4]. Cette acidification biologique (augmentation de l'acidité totale et baisse du pH) est bénéfique pour l'équilibre acide des vins mais aussi pour intensifier la couleur des vins

rouges [5] et pour la stabiliser grâce à la formation de pigments dérivés et polymères [6].

Bien que *Lachancea thermotolerans* puisse fermenter les sucres de manière concomitante à la production de l'acide lactique, en culture pure, elle ne peut atteindre qu'environ 9 % d'éthanol v/v [5, 7, 8].

Il est donc nécessaire de l'associer avec *Saccharomyces cerevisiae* (SC) pour achever le processus fermentaire [9]. Ainsi *L. thermotolerans* en utilisant une partie des sucres réduit la quantité disponible pour *S. cerevisiae* entraînant une réduction du degré alcoolique final du vin.

Lachancea thermotolerans participe également à l'enrichissement du profil aromatique des vins grâce à l'ensemble complet d'enzymes responsables de la production d'arômes qu'elle contient [10]. Elle peut par exemple produire des composés aromatiques tels que l'isoamylacétate et le phényléthanol, qui ajoutent des notes fruitées et florales aux vins [4, 11, 12]. Ces caractéristiques aromatiques complexes apportées à l'occasion de la bioacidification avec *L. thermotolerans* sont susceptibles de corriger les expressions aromatiques de type

"confiture", "pruneau" ou "fruits confits" généralement rencontrés dans les vins issus de raisins très "mûrs".

L'équipe de l'Université Polytechnique de Madrid (UPM) travaille depuis plus de dix années sur la sélection des souches d'intérêt œnologique de l'espèce LT [13].

Une souche particulièrement intéressante a été isolée en 2015 dans la région de la Ribera del Duero (Espagne) : L3.1. Depuis, cette souche a été soumise à de nombreuses étapes de validation et comparaison avec d'autres souches à l'échelle laboratoire, puis pilote et enfin sur sites de vinification [13] pour aboutir à sa production industrielle sous forme de LSA par la société Lallemand, sous la marque commerciale BLIZZ®.

Cet article détaille quelques résultats de l'étude approfondie de cette souche de *L. thermotolerans* (L3.1) sur des matrices typiques du bassin méditerranéen français, afin de déterminer les conditions de mise en œuvre optimales en caves. La caractérisation s'est concentrée sur plusieurs aspects clés comme sa tolérance à la température et au SO₂, ses besoins et sa consommation d'azote assimilable, l'effet de l'ajout de protecteur de levure lors de la réhydratation ainsi que son impact sur les paramètres analytiques en vinification. Une évaluation sensorielle (par jury expert et mesures de molécules aromatiques clés) a été menée pour déterminer l'impact gustatif et olfactif sur des vins partiellement fermentés avec cette souche.

Cette étude souligne l'intérêt de l'utilisation particulièrement bénéfique de cette souche pour la valorisation de vins issus de presses de blancs et rosés ou de thermovinification dont les pH sont élevés. Pour conclure, il présente les travaux en cours pour développer un modèle prédictif de production d'acide lactique par cette souche, en prenant en compte les caractéristiques environnementales telles que le pH, le SO₂, la température du moût et les procédés de vinification.

2. Matériels et méthodes

2.1. Microorganismes

La levure *Lachancea thermotolerans* L3.1 est utilisée sous forme de Levure sèche Actives (LSA) réhydratée à 28°C selon les recommandations du producteur à la concentration de 20 g/hL.

Pour les études de caractérisation, elle est utilisée en monoculture avec ou sans nutrition azotée selon l'essai. Pour les essais sur moûts issus du bassin Méditerranéen français, ceux pour mesurer l'impact sensoriel ou ceux pour déterminer le moment opportun d'apport de la *Saccharomyces*, une levure *Saccharomyces cerevisiae* (SC), sous forme de LSA réhydratée à 35°C selon les recommandations du producteur, est ajoutée à 20 g/hL. La souche inoculée dépend de l'essai (Tableau 1).

Tableau 1. Intrants utilisés pour chaque série d'essais avec L3.1 à 20 g/hL comme LT.

Thématique essais	S.C (20 g/hL) pour la fermentation alcoolique	Gestion de l'azote assimilable (YAN) avant premier levurage
Température SO ₂	Ø	Addition de complexe azoté pour atteindre 300 mg/L
Azote assimilable	Thermo-premium®	Variable
Produit de réhydratation		
Impact sensoriel	D47® pour les blancs GRE® pour les rosés	Addition de complexe azoté pour atteindre 250-300 mg/L
Impact sur paramètres œnologiques	D47® pour les blancs GRE® pour les rosés D254® pour les rouges	

2.2. Matrices

Nous avons travaillé au sein de la cave expérimentale de l'ICV (Lattes, France), sur différents moûts ou raisins issus de la zone méditerranéenne française, de différentes couleurs et origines. Les matrices testées sont essentiellement des phases liquides de moûts blancs, rosés, rouges thermovinifiés ou de raisins récupérés sur leur site de production. Les caractéristiques analytiques des matrices sont détaillées dans le tableau 2. Les processus d'obtention des jus de vinification sont propres à chaque cave ou domaine dont ils sont issus.

Tableau 2. Caractéristiques des moûts et raisins utilisés

Cépage / Origine (thématique essai)	pH	TAP %v/v	Nass (mg/L)	SO ₂ actif (mg/mL)
Merlot thermovinifié (Température / SO ₂)	3.75	13.8	232	variable
Grenache Rosé (pH / SO ₂)	3.80	12.5	191	variable
Viognier Hérault (Paramètres œnologiques)	3.55	13.0	286	<0,10
Clairette Gard (Paramètres œnologiques)	3.65	13.1	241	<0.08
Cinsault C Provence (ASDQ)	3.50	14.7	295	<0.11
Cinsault M Hérault (Paramètres œnologiques)	3.45	11.7	252	0.31
Raisins Syrah Aude (Paramètres œnologiques)	3.65	13.9	275	<0.08

Nass* : azote assimilable disponible au moment d'ajout de L3.1.

2.3. Fermentations

La majorité des fermentations est réalisée dans des fermenteurs de 1 L (en doublon) ou lors de mini-vinifications au volume unitaire de 30 L. Sauf indication

contraire (cf. tableau 1), la *Lachancea thermotolerans* est ensemencée seule.

Quand nous avons comparé une cuve témoin (codifiée : Ø L3.1+ 1 SC) et une cuve inoculée avec L3.1 (codifiée : L3.1 + 1 SC), l'ajout de SC est réalisé 72h après L3.1.

2.4. Analyse des paramètres œnologiques

2.4.1. Sur moût ou raisins

Le glucose-fructose, l'acidité totale (AT), le pH et l'azote assimilable (Nass) ont été déterminés par IRTF (infra rouge à transformée de Fourier) sur un WineScan Auto (FOSS, Danemark). Les acides lactique et malique ont été quantifiés par méthode enzymatique sur un BS-800M (Mindray, France) utilisant les kits appropriés (Neos-oen, France) ; sur le même appareil le SO₂T et le SO₂L ont été déterminés par colorimétrie.

2.4.2. Sur vins finis

L'alcool acquis (TAV) est mesuré par IRTF. L'AT et le pH ont été analysés sur un analyseur automatique (ATP Eris) ; l'acide lactique, l'acidité volatile et le glucose-fructose sont dosés par méthode enzymatique; le SO₂T et le SO₂L sont déterminés par colorimétrie. Le laboratoire de mesure est attaché à la cave expérimentale et certifié COFRAC suivant la norme ISO 17025.

2.5. Analyse sensorielle

Tous nos essais vinifiés en 30 Litres ont fait l'objet d'une analyse sensorielle descriptive quantifiée par notre jury expert d'œnologues ICV représentant toutes les régions viticoles de la zone d'implantation de l'ICV (12 dégustateurs) [14].

2.6. Analyse de composés volatils

Les thiols variétaux, le 3-sulfanylhexan-1-ol (3SH), à l'odeur de pamplemousse et d'agrumes, et son acétate (A-3SH), à l'odeur de fleur et de fruit de la passion, ont été quantifiés par dilution isotopique en LC-MS/MS selon la méthode précédemment publiée [15].

3. Résultats et discussion

3.1. Impact des paramètres environnementaux sur la production d'acide lactique

3.1.1. Besoins en azote et consommation d'azote

La production d'acide lactique de L3.1 est liée à la teneur en azote assimilable disponible [12, 16-17]. Toute chose égale par ailleurs, en l'absence d'autres microorganismes, l'acide lactique produit est croissant entre 50 et 200 mg/L d'azote assimilable disponible, puis décroît à 500 mg/L

(Figure 1). C'est l'accroissement de la population lié à l'azote assimilable disponible qui expliquerait cet impact.

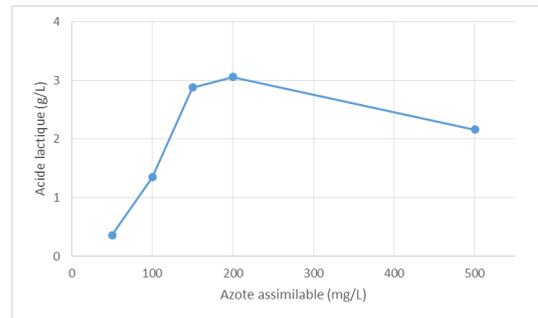


Figure 1. Production d'acide lactique par L3.1 en fonction d'une concentration en azote assimilable croissante. Adapté de Morata [16].

Sur la base des travaux précédents [16], nous avons précisé les besoins en azote assimilable disponible de L3.1 entre 200 mg/L et 500 mg/L : au-delà des 300 mg/L d'azote disponible, la quantité d'acide lactique produite n'est plus impactée positivement par la présence d'azote [17].

En pratique il est conseillé préalablement au levurage de L3.1, de doser l'azote assimilable initial, et de supplémenter les moûts carencés afin de se situer autour de 300 mg/L d'azote assimilable disponible.

Afin de pouvoir gérer correctement la nutrition azotée de *Saccharomyces cerevisiae* qui viendra achever la fermentation alcoolique, la consommation moyenne en azote de cette souche a été estimée de 45 à 50 mg/L par jour [17].

3.1.2. Tolérance à la température et au SO₂

Nos premiers résultats à des températures de travail de 15°C, 22°C et 30° ont montré un optimum de fonctionnement de la levure L3.1 en termes de quantité d'acide lactique produit autour de 22°C [17].

Dans un objectif d'une bioacidification en blanc et rosé où les températures de FA sont en général plus basses que 22°C, nous avons étudié de manière plus fine son comportement sur une plage de température entre 18°C (température minimale requise pour cette sélection, données internes ICV) et 22°C. La sensibilité de cette espèce au SO₂ ayant été relevée [18], nous avons intégré ce facteur dans notre plan expérimental autour de la température.

La maîtrise de la température et du SO₂ sont vite apparus comme des points clés pour le vinificateur afin d'optimiser l'utilisation de cette souche.

Les résultats des nombreux essais menés sur ces deux paramètres [17] nous amènent à conseiller de travailler à des teneurs en SO₂ actif ≤ à 0,15 mg/L avant ajout de L3.1 quand une production d'acide lactique maximale est recherchée et que les températures des cuves sont comprises entre 18 et 20°C.

3.1.3. Influence du pH initial

Un même moût de rosé de Grenache, avec ou sans ajout de SO₂ (2 g/hL), a été ajusté à un pH de 3,5 ou 4 avant ajout de L3.1. La production d'acide lactique a été mesurée 72 heures après cet ajout (Figure 2).

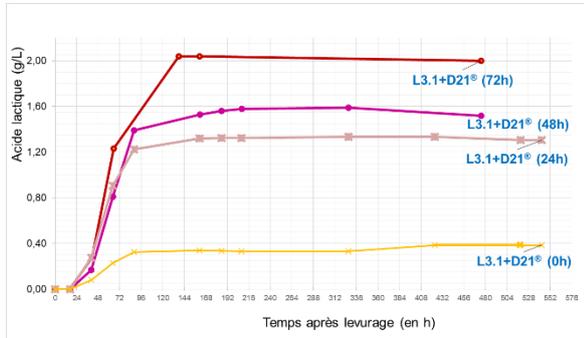


Figure 2. Production d'acide lactique en fonction du pH à 20°C sans (à gauche) ou avec SO₂ ajouté (à droite) – Grenache Rosé.

Nous avons constaté que, plus le pH initial était élevé, plus la production finale d'acide lactique était importante, avec des teneurs influencées ici aussi par la présence de SO₂.

3.1.4. Réhydratation avec ou sans protectant

Nous avons montré que l'utilisation, d'un protecteur levurien spécifique (GoFerm™ StérolFlash), qui lui transfère stérols, vitamines et minéraux, lors de la réhydratation de L3.1, améliorerait sa capacité à produire de l'acide lactique. Et ce, dans quasiment toutes les situations, de manière d'autant plus marquée que la température de travail était proche de l'optimum de 22°C [17]. En particulier, en présence de SO₂, ce protecteur semble permettre de compenser au moins partiellement l'effet inhibiteur des sulfites.

3.1.5. Moment d'apport de *Saccharomyces cerevisiae*

La littérature scientifique indique la nécessité de travailler *L. thermotolerans* (LT) en tandem, notamment avec l'espèce *S. cerevisiae* (SC) pour achever la fermentation alcoolique. Le comportement des LT (cinétiques fermentaires, métabolites et composés aromatiques produits...), selon le moment d'apport et la nature des SC a largement été étudié [7, 10, 17- 21]. Les LT doivent disposer suffisamment de temps seules avant l'ajout de SC pour leur implantation, leur développement et leur activité lactique [3] (+ données internes Groupe ICV). Il est donc intéressant d'évaluer L3.1 en fonction du temps qu'on lui octroie avant l'ensemencement en SC et d'étudier l'effet éventuel de différentes souches sélectionnées de SC qui pourraient induire des compétitions d'intensités variables.

La production d'acide lactique des *Lachancea thermotolerans* inoculées seules dans un moût ou sur raisins suit un schéma similaire : une croissance au fil des jours après inoculation pour atteindre un plateau, selon les matrices ou les souches de LT, entre 3 et 6 jours [4].

Nos premiers résultats indiquaient que le moment optimal d'apport d'une SC (D21® dans notre étude) était 72h après inoculation de L3.1 (Figure 3) pour obtenir un maximum d'acide lactique produit.

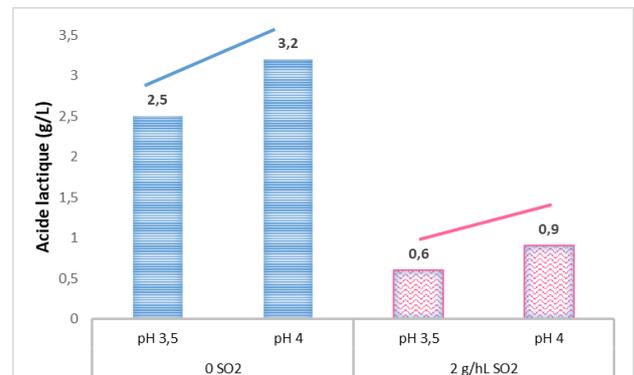


Figure 3. Cinétique de production d'acide lactique en fonction du moment d'ajout de SC D21® (0 à 72h). Merlot.

Des essais complémentaires ont montré que ce moment optimum était non seulement souche de SC dépendante mais également matrice dépendante [17].

En effet, selon notamment les besoins azotés de la SC choisie, sa phase de latence et les conditions du milieu (disponibilité en azote, teneur en sucre, pH, présence de SO₂ et température...), le moment où la production d'acide lactique sera optimale correspondra à une inoculation de *S. cerevisiae* à 48h ou à 72h.

De plus, la pression microbienne et le risque de fermentation alcoolique (comme malolactique) spontanée en cave, imposent souvent de ne pas dépasser ce délai là pour ajouter la SC.

Des travaux sont encore en cours afin d'optimiser l'articulation des deux microorganismes dans le temps en fonction des souches et des moûts.

3.2. Impact de L3.1 sur le pH, l'acidité totale et le degré alcoolique.

En parallèle de nos études de caractérisation, des essais issus de moûts ou raisins de différentes caves de production (Tableau 2) ont été menés sur deux cuves : une cuve « témoin » avec une SC (cf. Matériel & Méthodes) et une cuve fermentée avec L3.1, puis inoculée en séquentiel (48 à 72h) avec la même SC.

La production d'acide lactique ainsi que la différence de l'acidité totale, du pH, du degré et de l'acidité volatile entre la modalité témoin (sans L3.1) et celle co-inoculée L3.1 + SC, ont été suivies (Tableau 3).

Tableau 3. Production d'acide lactique et différentiels de paramètres œnologiques (acidité volatile, TAV final, acidité totale et pH) avec la cuve témoin sur différentes matrices.

Cépage	Viognier	Clairette	Cinsault M	Cinsault C	Syrah Trad
Ac. Lactique (g/L)	9,9	2,75	0	6,8	8,2
ΔAc. Volatile (gH ₂ SO ₄ /L)	+0,20	+0,03	-0,02	+0,05	-0,06
ΔTAV final (%)	-0,59	-0,20	-0,20	-0,85	-0,93
ΔAT (gH ₂ SO ₄ /L)	+4,13	+1,13	+0,2	+3,59	+3,47
ΔpH	-0,16	-0,13	-0,02	-0,18	-0,30

On constate que les productions d'acide lactique sont variables d'un vin à l'autre, oscillant entre aucune production (Cinsault M) et 9,9 g/L atteint pour le Viognier par exemple. Ces différences de concentration en acide lactique sont liées essentiellement aux conditions de mise en oeuvre de la L3.1 : présence de doses inhibitrices de SO₂ (Cinsault M), température de fermentation trop basse (15°C), pH bas ...

L'augmentation de l'acidité totale est beaucoup plus « proportionnelle » (de + 0,2 à 4,13 g/L eq H₂SO₄) à la présence de lactique que la diminution du pH (de -0,02 à -0,3 unités).

S'il a été montré une corrélation entre la diminution du pH et la production de lactique [5], les résultats étaient obtenus sur des fermentations de cultures pures de LT. Dans notre cas, il y a eu co-fermentations avec SC dont on sait que le pH est en partie régulé par son métabolisme azoté ammoniacal [24].

La chute du degré alcoolique final sur les 5 moûts de caves, comparativement à la cuvée témoin, varie entre -0,2 à -0,93 % v/v. Une partie du sucre utilisé par LT pour produire de l'acide lactique n'est pas disponible pour la production d'alcool de la SC.

3.3. Impact sensoriel de L3.1

L3.1 appartient à l'espèce *Lachancea thermotolerans* qui est la seule parmi les espèces non *Saccharomyces* du vin à posséder potentiellement toutes les enzymes impliquées dans la production d'arômes : lipases, estérases, aminopeptidases, carbohydrases...[10]. Même sur des cépages peu aromatiques (Cinsault, Clairette...), un potentiel aromatique jusque-là inconnu peut se révéler. Notamment sur des vins issus des presses.

Sur les vins précédemment cités, une analyse sensorielle descriptive quantifiée (ASDQ) a été menée [14]. À titre d'exemple, celle du vin rosé issu de Cinsault C est présentée (Figure 4). Des notes olfactives supérieures significativement de buis et d'agrumes sont relevées sur le vin coinoculé avec L3.1. En bouche, une acidité exacerbée est observée sans néanmoins impacter l'astringence et l'amertume du vin L3.1 + SC.

De manière récurrente, sur les blancs et rosés, des notes de fruits blancs, d'agrumes, de fruits frais, de fruits exotiques sont plus présentes, avec une belle tension en milieu de bouche [4, 11, 14, 20, 24].

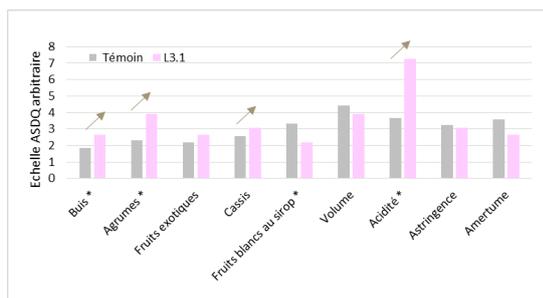


Figure 4. Analyse sensorielle du Cinsault C (acide lactique produit par L3.1 = 6.8 g/L). * = différence significative au seuil de 0,05% (test de Student).

Le dosage de thiols variétaux, comme le 3-sulfanylhéxan-1-ol (3SH), à l'odeur de pamplemousse et d'agrumes, et son acétate (A-3SH), à l'odeur de fleur et de fruit de la passion, a aussi été réalisé sur les vins SC et L3.1+SC du Cinsault C [15]. Pour ce type de cépages qualifiés de « peu aromatiques » sur cette famille de notes, les teneurs sont 2,7 fois supérieures au témoin fermenté uniquement avec la même *Saccharomyces* (Tableau 4), confirmant également l'ASDQ. Ainsi, une vraie valorisation qualitative du vin est obtenue par l'utilisation de la souche de *Lachancea*.

Tableau 4. Dosage des thiols variétaux, 3-sulfanylhéxan-1-ol (3SH), et son acétate (A-3SH), sur Cinsault C, adapté de Bonnefond et al. [17].

3SH+3SHA (eq 3SH en ng/L)	Cinsault C
SC GRE® (Témoin)	86
L3.1 + SC GRE®	236

3.4. Modèle prédictif

Les résultats précédents, montrant un effet significatif d'un nombre important de paramètres sur la production d'acide lactique, nous ont conduits à exploiter les données de nos fermentations en cave expérimentale pour essayer de définir un modèle prédictif multi – varié.

Il est en effet intéressant de pouvoir se faire une idée quantitative correcte du niveau probable de lactique produit, étant donné qu'en cave plusieurs paramètres, comme par exemple la température, le niveau d'azote assimilable initial ou le délai entre les ensemencements de L3.1 et de SC, peuvent être modifiés par le vinificateur. En fonction de ses objectifs, un modèle prédictif est un outil de gestion qui l'aidera à optimiser les paramètres de travail.

La base de données sur laquelle nous avons travaillé est constituée de 78 situations différentes, toutes sur des moûts réels, couvrant les 3 couleurs. Les paramètres sont soit mesurés (pH, sucres, azote assimilable initial...), soit fixés par les conditions expérimentales sur lesquelles nous avons décidé de réaliser ces essais (température, SO₂ ajouté, temps entre les levurages de L3.1 et de SC).

Nous avons donc relevé l'ensemble de ces données et procédé à un traitement sous Excel 2013 avec la fonction "DROITEREG" appliquée à la matrice complète des données. Cette fonction combine de manière linéaire les variables explicatives de manière à approcher la variable d'intérêt (la production d'acide lactique) avec le moins d'écart possible. Comme dans une régression linéaire simple, le modèle donne le coefficient de corrélation global (r²) et les coefficients à appliquer à chaque variable. Schématiquement on obtient une équation du type : [lactique prédit] = a x [G+F] + b x pH + c x [SO₂ total]...

Outre ces informations, on peut récupérer le "poids" de chaque variable dans le modèle (calculé par le rapport entre le coefficient et son erreur type) ainsi que la probabilité que le modèle soit non – significatif (test de Fisher). Tous ces éléments sont intéressants pour notamment travailler à réduire le nombre de variables

explicatives : moins on aura d'information à renseigner, plus on sera susceptible d'utiliser un modèle qui doit rester pertinent (r^2 et test F).

Nos approches successives nous ont permis de simplifier le modèle avec 7 variables d'entrée tout en conservant un r^2 à la fois significatif (prob < 0.01%) et correct de 0,85 (Figure 5).

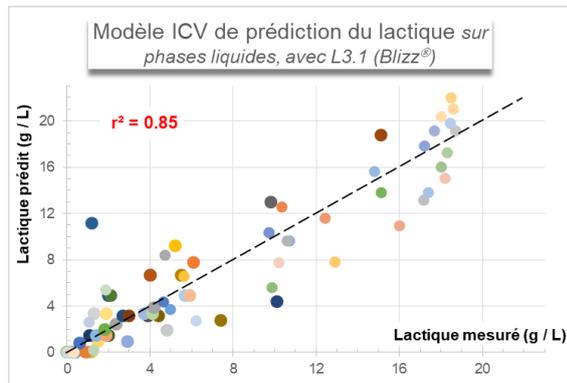


Figure 5. Représentation graphique de la corrélation entre les valeurs mesurées de lactique et celles prédites par le modèle ICV.

Les variables ayant le plus de poids sur le niveau de lactique produit confirment les résultats présentés : le temps de travail dans le moût de L3.1 seule, le pH, la température et l'azote assimilable sont les plus impactants. Les autres variables qui pèsent tout en restant un peu moins influentes que les précédentes sont le SO₂, la dose de levurage et l'acidité totale.

Ce modèle va être mis à disposition des utilisateurs avec un double objectif : les aider à mieux calibrer et piloter les situations dans lesquelles ils voudront utiliser L3.1 et récupérer le maximum de valeurs réelles en septembre et octobre afin d'enrichir la base de données pour améliorer le modèle avec des moûts travaillés en situation de production de type plus industriel que celle d'une cave expérimentale.

4. Conclusion

Lachancea thermotolerans offre un potentiel unique pour l'œnologie moderne, particulièrement dans le contexte des défis posés par le changement climatique. Sa capacité à produire de l'acide lactique, à augmenter l'acidité totale, à diminuer pH et degré alcoolique ainsi qu'à enrichir le profil aromatique des vins en fait un atout précieux pour les vignerons cherchant à améliorer les profils de leurs vins.

Elle est notamment, un outil remarquable pour valoriser les rouges à pH élevé, les presses de blanc ou de rosé, les cépages peu aromatiques et augmenter ainsi les volumes de cuvées qualitatives.

Les études précédentes ont montré la grande variabilité des *Lachancea thermotolerans*, tant sur leur production d'acide lactique que sur leur sensibilité au SO₂, à la température ou à l'azote [4].

Cette étude nous permet de proposer des **préconisations d'emploi propres à cette souche L3.1** dans une optique de production maximale d'acide lactique :

- Température optimale de fonctionnement autour de 20-22°C. Possiblement autour de 18°C si pas ou très peu de SO₂ total,
- Limitation des additions de SO₂ dans les phases précédant l'ensemencement avec L3.1 (1 plus faible possible et avec une limite autour de 45 – 50 mg / L)
- Utilisation d'un protecteur levurien spécifique lors de la réhydratation, adapté pour palier la présence de SO₂ ou d'une basse température,
- Ajustement des teneurs en azote assimilable initial autour de 300 mg/L,
- Ajout de *Saccharomyces cerevisiae* pour terminer la FA, entre 48h et 72h après ensemencement de L3.1.

Selon les objectifs de production du vinificateur, il pourra utiliser cette LT sélectionnée de deux façons :

- Produire une cuvée pure où elle apportera fraîcheur aromatique et gustative à teneur en acide lactique modérée (< 3 g/L). Quand la fermentation malo – lactique est souhaitée, il est alors fortement recommandé de co-inoculer avec des bactéries lactiques (données internes ICV).
- Produire une cuve comme élément correctif pour plusieurs autres cuves. Acidifier avec une cuve «mère» permet de corriger l'acidité d'autres cuves «filles» par assemblage, y compris en cours de fermentation. Pour les rouges, pas de fermentation malolactique obligatoire sur la cuve ensemencée en LT si elle est utilisée à petite dose ou si elle est assemblée avant la fermentation malolactique à des cuves «filles».

5. Références

1. J. Cukierman, H. Quénot, and M. Bouffard, Quel vin pour demain? Le vin face aux défis climatiques. (2021).
2. G. Jones, M. White, O. Cooper, and K. Storchmann, *Clim Change*, 73, 319 (2005)
3. A. Morata, M. Bañuelos, C. Vaquero, I. Liora, F. Palomero, C. Gonzalez, J.A. Suarez-Lepe, J. Wang, S. Han, Y. Bi, *Eur Food Res Technol* 245, (2019),
4. C. Vaquero, I. Loira, M. Bañuelos, J. Heras, R. Cuerda, and A. Morata, *Microorganisms*, 8, 830 (2020)
5. A. Hranilovic, V. Jiranek, J. Coulon, I. Masneuf-Pomarède, W. Albertin, and M. Bely, *Rev. Oeno.*, 4 (2022)
6. C. Escott, A. Morata, J. Ricardo-da-Silva, M. J. Callejo, C. Gonzalez, and J. Suárez-Lepe, *Molecules*, 23, 2353 (2018)

7. A. Hranilovic, J. Gambetta, L. Schmidtke, P. Boss, P. Grbin, I. Masneuf-Pomarede, M. Bely, W. Albertin, and V. Jiranek., *Sci. Rep.*, 8, (2018)
8. K. Kapsopoulou, A. Kapaklis, and H. Spyropoulos, *World J Microbiol Biotechnol.*, 21, 1599 (2005)
9. P. Blanco, E. Rabuñal, N. Neira, and D. Castrillo, *Beverages*, 6, 36, (2020)
10. A. Joran, G. Klein, C. Roullier-Gall, and H. Alexandre, *Fermentation*, 8, 286 (2022)
11. C. Vaquero, I. Loira, J. Heras, F. Carrau, C. Gonzalez, and A. Morata, *Front. Microbiol.*, 12, 656262 (2021)
12. C. Vaquero, C. Escott, J. Heras, F. Carrau, and A. Morata, *Food Res. Int.*, 161, 111891 (2022)
13. A. Morata, “How to Improve pH and Freshness While Reducing SO₂,” Webinar INFOWINE, 2024.
14. D. Granès, L. Blateyron-Pic, J. Negrel, and C. Bonnefond, *Rev. Fr. Oenol.*, 238, 16 (2009)
15. A. Roland, S. Delpech, L. Dagan, M.-A. Ducasse, F. Cavelier, and R. Schneider, *J Chromatogr A*, 14, 154 (2016)
16. A. Morata, I. Loira, W. Tesfaye, M. A. Bañuelos, C. González, and J. A. Suárez Lepe, *Fermentation*, 4, (2018)
17. C. Bonnefond, L. Pic, and D. Granès, *Rev. Fr. Oenol.*, à paraître
18. F. Comitini, M. Gobbi, P. Domizio, C. Romani, L. Lencioni, I. Mannazzu, M. Ciani, *Food Microbiol.*, 28, 873 (2011)
19. M. Favier, A. Hranilovic, I. Masneuf-Pomarède, W. Albertin, M. Bely, and J. Coulon, *Rev. Fr. Oenol.*, 30 (2021)
20. G. Nogue, A. Mennenson, E. Boissenot, E. Lambert, and M. Balsimelli, *Rev. oenol. techn. viti. oeno.*, 181, (2021)
21. P. Comuzzo, J. Fresno, S. Voce, I. Loira, and A. Morata, *Front Microbiol.*, 14, (2023)
22. B. Zhang, c. Tong, D. Yang, H. Liu, J. Xue, C. Duan and G. Yan, *Food Chem.*, 368, 130807 (2021)
23. J. Vicente, L. Vladoic, E. Navascues, S. Brezina, A. Santos, F. Calderon, W. Tesfaye, D. Marquina, D. Rahut and S. Benito., *Food Chem.*, 21, 101214 (2024)
24. H. Akin, Thesis INPT (2008)
25. C. Escott, C. Vaquero, I. Loira, C. López, C. Gonzalez, and A. Morata, *Foods*, 11, 3734 (2022)