

# Thiols variétaux

## Impact des pratiques viticoles et œnologiques

### Composés les plus représentatifs et importance aromatique

Les thiols variétaux sont des composés soufrés très importants du profil aromatique de certains vins. On les trouve dans le raisin sous formes de précurseurs cystéinylés ou glutathionylés, dérivés d'acides aminés ou de peptides, et vont au cours de la vinification être assimilés par la levure et libérés en composés odorants dont les seuils de perception, très faibles, vont de 0,8 à 60 ng/l selon le type

de molécule impliqué.

Les thiols les plus représentatifs sont le 4-méthyl-4-mercaptopentane-2-one (4MMP) à l'origine des arômes de cassis et de buis, le 3-mercaptohexane-1-ol (3MH) procurant un arôme de pamplemousse et son acétate (A3MH) donnant un arôme de fruit de la passion.

### Impact des pratiques viticoles

#### Cépage

On trouve des thiols variétaux dans les vins d'un grand nombre de cépages, mais certaines variétés sont très productrices. Dès lors, ces composés orientent majoritairement le profil aromatique des vins comme dans les cas des vins blancs issus des cépages Sauvignon Blanc, Colombard, Petit et Gros Manseng pour n'en nommer que quelques-uns. On les retrouve également dans de nombreux cépages rouges tels que le Merlot, la Syrah ou le Grenache, ainsi que la Négrette et le Malbec. L'abondance de précurseurs semble être liée au cépage et peut varier en fonction de l'aire de production.

#### Conduite au vignoble

##### Protection des vignes

La présence de cuivre dans les moûts a des effets négatifs sur les teneurs en thiols variétaux des vins obtenus.

Il est important de raisonner l'emploi de spécialités à base de cuivre pour la protection du vignoble en fonction des profils de vins visés et de limiter les apports de fin de saison, sur la partie haute du feuillage et d'éviter les grappes.

##### Fertilisation foliaire

La pulvérisation foliaire d'azote et de soufre au cours de la véraison est une technique viticole qui permet de surexprimer la production de thiols dans les vins.

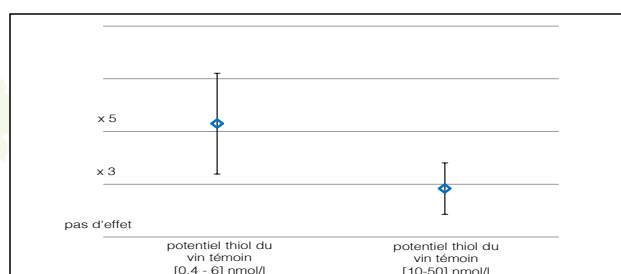


Figure 1 : Gain en thiols variétaux dans les vins après pulvérisation foliaire d'azote-soufre sur vigne. Moyennes sur 26 parcelles, 5 cépages et 5 millésimes. Extrait de Dufourcq et al., 2010.

Ces apports doivent s'intégrer dans une stratégie globale, au vignoble et au chai, pour la production de ces composés.

##### Gestion de la végétation

###### Effeillage

L'effeuillage est une pratique qui permet de lutter contre le *Botrytis* en améliorant le micro-climat des grappes. Dans le cas des vins blancs, cette pratique se heurte à la possibilité d'une exposition des grappes induisant la présence accrue de polyphénols dans le moût pouvant entrer dans des mécanismes réactionnels qui conduiraient à la diminution d'une partie du potentiel en composés aromatiques soufrés des vins. L'effeuillage doit donc se raisonner entre d'une part l'entassement de végétation et le risque de pourriture, et d'autre part l'exposition des grappes et des pertes en potentiel aromatique.

Il a cependant été montré que la quantité de précurseurs cystéinylés (3MH) des thiols variétaux dans les raisins n'est pas pénalisée par la pratique de l'effeuillage. Elle peut même améliorer le potentiel aromatique des vins selon le millésime, comme observé avec le Colombard.

Pour la production de vins typés thiols variétaux, cette technique est recommandable dans le cas de vignes vigoureuses où le risque sanitaire est important.

###### Hauteur de feuillage

Des travaux récents sur Sauvignon blanc montrent qu'un rapport feuille/fruit élevé (>1.8m<sup>2</sup>/kg) améliore la présence de thiols variétaux (famille du 3MH) dans les vins par rapport à des rapports plus faibles (1.1m<sup>2</sup>/kg et 0.6m<sup>2</sup>/kg), se traduisant par une meilleure qualité sensorielle globale du vin. Ce type de résultat n'a en revanche pas été observé sur Colombard.

#### Maturité et date de récolte

Les teneurs en précurseurs des thiols dépendent de la maturité de la baie, leurs concentrations augmentant dans les raisins de la véraison

à la maturité et de manière plus significative autour de la date de récolte. Cette accumulation dépend du millésime, du climat et du type de sol sur lequel la vigne est cultivée.

Des travaux de l'IFV sur les effets de la date de récolte sur le cépage Colombard ont montré qu'une durée véraison-récolte de 50 jours est plus favorable qu'une date précoce (40j) pour révéler les composés comme le 3MH et l'A3MH (pamplemousse, fruit de la passion), d'autant plus que le régime hydrique subi par la vigne a été optimal.

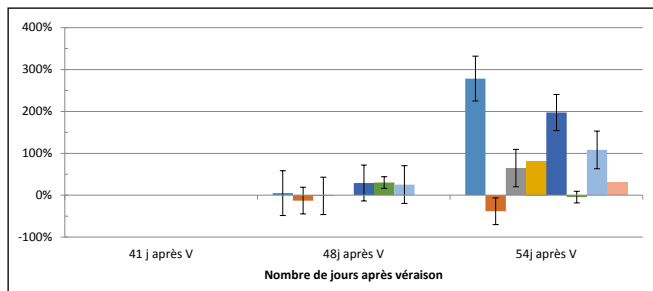


Figure 2 : Quantité de thiols variétaux dans les vins de Colombard [2001-2004]. Pourcentage de variation par rapport à la 1ère date de récolte (41j après V). Extrait de Dufourcq et al., IFV (2006).

### Etat azoté des raisins

Les composés azotés des raisins sont au cœur de la production des thiols variétaux par la levure. L'azote acquis au vignoble, et notamment la présence d'acides aminés, entraîne un potentiel de révélation supérieur aux compléments azotés apportés au chai.

### Etat hydrique de la vigne

Un état hydrique confortable jusqu'à la véraison, qui peut être obtenu par irrigation ou par sélection de terroirs adaptés, est optimal. Cet état hydrique doit évoluer vers la contrainte modérée pendant la maturation des raisins pour être favorable à la production de thiols dans les vins.

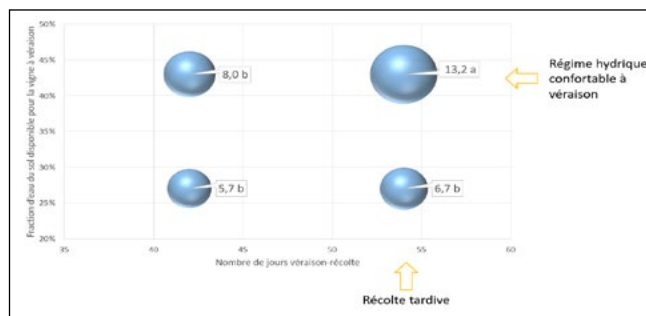


Figure 3 : Concentrations en 3MH + A3MH (mmol/L) mesurées dans des raisins de Colombard [2010-2014] en fonction du régime hydrique et de la durée véraison-récolte. Extrait de Dufourcq et al., IFV (2016).

### Climat

Les terroirs qui se montrent les plus favorables à l'expression «thiols» des vins sont généralement tempérés à frais pendant la période de croissance et maturité des raisins. En Gascogne, les millésimes chauds comme 2003 ou 2011 ont pénalisé le potentiel du cépage Colombard.

### Etat sanitaire

*Botrytis cinerea* est connu pour produire la laccase dans les raisins, une oxydase puissante et non sélective. Ainsi, le mécanisme d'oxydation est préjudiciable à la qualité finale du vin et à la révélation des thiols dans les vins issus de vendanges altérées.

Dans le cas particulier de la production de vins issus de vendanges botrytisées, la présence de *Botrytis cinerea* est activateur de la biogenèse de Cys3MH, favorisant la présence de thiols dans les vins.

## Impact des pratiques œnologiques

### Protection contre l'oxygène

Les composés soufrés volatils odorants à l'origine des thiols sont des composés réducteurs. La préservation et la conservation du potentiel aromatique passent par la protection des vins contre l'oxygène. Cela commence dès la récolte et durant toute la chaîne technologique qui conduira le vin dans la bouteille.

Il s'agit de maîtriser deux phénomènes :

- La dissolution de l'oxygène dans le moût ou dans le vin : toutes les opérations de manipulation, de transfert, doivent être réfléchies pour éviter de « trop » mettre en contact le liquide et le gaz.
- L'oxydation : l'oxygène dissout entre en contact avec des composés du vin et entraîne des réactions chimiques néfastes à la qualité aromatique.

Pour lutter contre ces phénomènes d'oxydation, on peut agir de plusieurs manières : en évitant la dissolution d'oxygène, en utilisant des agents protecteurs (acide ascorbique, SO<sub>2</sub>) et/ou en maîtrisant la température (plus le milieu est froid, plus les réactions d'oxydation sont ralenties ; attention, plus le milieu est froid plus on dissout facilement de l'oxygène).

### Opérations pré-fermentaires

#### Macération pelliculaire

En raison de leur localisation préférentielle dans la pellicule, il y a un intérêt œnologique important de l'utilisation de techniques de macération pré-fermentaire pour extraire les précurseurs.

L'extraction sera d'autant plus importante qu'elle dure longtemps et que la température est élevée. Attention cependant car cette technique d'extraction n'est pas sélective et peut apporter l'amertume et l'astringence des polyphénols, les arômes herbacés et végétaux des raisins verts ou les odeurs moisis et terreuses des raisins altérés. Cette pratique se justifie sur raisins sélectionnés, sains et de maturité parfaite.

#### Pressurage

Les vins résultants de moûts de fin de presse présentent des teneurs en 3MH et A3MH plus élevées. Néanmoins, l'utilisation d'une telle pratique doit être modérée car elle implique une plus forte extraction des composés polyphénoliques préjudiciable à la qualité globale du vin blanc.

Dans l'optique d'obtenir des vins plus aromatiques, des essais d'élaboration des moûts en conditions d'inertage sur Melon et Sauvignon Blanc ont démontré l'intérêt de l'utilisation de la micro-oxygénation ou de l'oxydation ménagée et raisonnée des jus, afin de favoriser une des voies de formation de précurseurs glutathionylés d'origine pré-fermentaire; ces composés étant tous deux à l'origine de la libération de 3MH dans les vins.

### Stabulation liquide à froid

La stabulation à froid sur bourbes pendant plusieurs jours est une technique en complément ou en alternative à la macération pelliculaire. Le milieu doit être assez riche, de l'ordre de 150 à 180 NTU après débouillage pour favoriser la présence de thiols dans les vins. Les travaux de l'IFV (2012) sur Colombard illustrent une augmentation significative du potentiel thiol sur des durées de macération de 3, 7 et 14 jours.

D'autres travaux ont montré que cette stabulation liquide à froid influence positivement la libération des thiols sans pour autant influencer sur les teneurs en précurseurs dans les moûts de Sauvignon Blanc.

## Fermentation

### Choix de la souche de levure

Les thiols variétaux sont libérés au cours de la fermentation alcoolique par les levures grâce à leur activité enzymatique. La conversion des précurseurs de thiols dépend de la souche utilisée et de sa capacité à assimiler ces précurseurs ainsi que les autres composés azotés du moût.

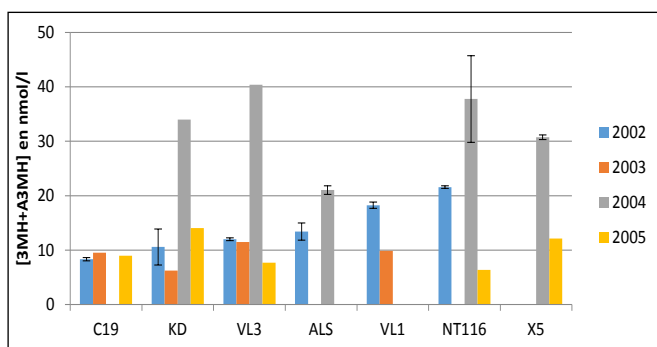


Figure 4 : Concentrations en 3MH + A3MH (nmol/L) mesurées dans les vins de Colombard [2002-2005] en fonction de la souche de levure utilisée. Extrait de Dufourcq et al., IFV (2007).

### Combinaison de souches et hybridation

La combinaison de différentes souches de levure en fermentation permet de bénéficier des atouts de chacune d'elles dans l'assimilation et la conversion des précurseurs en thiols ou l'acétylation à l'origine de la formation de A3MH. L'utilisation de souches non *Saccharomyces* ou d'hybrides interspécifiques ont également montré de bons résultats.

### Température de la fermentation alcoolique

Ce ne sont pas les températures de fermentation basses qui sont les plus favorables à la production des thiols. Les travaux de l'IFV montrent que les températures de 18-20°C sont plus favorables aux thiols par rapport à des températures de 14-16°C. La durée de fermentation (à température constante) a également un effet sur la perception des thiols variétaux dans des vins de Colombard vinifiés en conditions équivalentes. Les vins qui fermentent le plus vite sont ceux qui expriment l'intensité « thiol » la plus élevée.

### Nutrition azotée de la levure

L'assimilation des précurseurs de thiols par la levure est très liée à l'assimilation des formes azotées du moût.

Il faut cependant noter que les formes d'azote apportées en vinification ne sont pas optimales par rapport à un même niveau d'azote acquis au vignoble.

Par ailleurs, le transport des précurseurs de thiols dans la levure est réprimé par un excès d'ion ammonium (azote ammoniacal) qui s'accompagne d'une diminution de rendement de conversion en thiols.

Dans les stratégies de nutrition, il faut donc préférer l'utilisation d'azote organique en début de fermentation, lorsque le transport et la conversion en thiols a lieu, et l'ajout d'ammonium plus tardif.




## Élevage et conservation

Les arômes soufrés sont très sensibles à l'oxydation. Ils s'expriment au mieux dans les vins jeunes puis déclinent rapidement la deuxième année qui suit la fabrication. Les facteurs qui interviennent sont liés à :

- la composition du vin (présence de composés réducteurs, de métaux),
- la dissolution d'oxygène dans le vin au cours des différentes opérations d'élevage et de conditionnement,
- aux températures de stockage.

Le vieillissement sur lies (avant la mise en bouteille) et la présence de dioxyde de soufre, de glutathion naturel ou d'anthocyanes (en rouge et rosés) ont un effet protecteur contre la perte de notes fruitées dans le vin. L'utilisation de colles (PVPP, PVI) est également envisageable pour limiter la présence de métaux et de quinones avec lesquels réagissent les composés soufrés.

### Les thiols et leurs descripteurs :

Molécule	Seuil de perception (ng/L)	Descripteurs
3MH	60	Pamplemousse, citron frais 
A3MH	4	Fruit de la passion 
4MMP	0,8	Feuille de tomate, cassis, buis 







## Ce qu'il faut retenir...

### **Comment favoriser la présence de précurseurs d'arômes dans la baie ?**

- Le terroir joue un rôle incontestable.
- Une contrainte hydrique modérée en fin de saison favorise la présence de précurseurs.
- L'effeuillage a un effet indirect en améliorant l'état sanitaire.
- La maturité favorise la synthèse des précurseurs et les teneurs en thiols dans les vins.
- Les teneurs importantes en azote dans le moût sont également favorables à l'obtention des thiols.

### **Comment favoriser l'extraction des précurseurs dans le moût ?**

- La stabulation à froid et le travail des bourbes semblent avoir un rôle sur l'extraction des précurseurs et leur hydrolyse dans le moût.
- Bien menée sur raisins sains et mûrs, la macération pelliculaire permet une extraction supplémentaire de précurseurs. Attention à l'extraction des polyphénols. Le rôle des enzymes pectolytiques utilisées en macération n'a pas été démontré à 100%.

### **Comment favoriser la transformation des précurseurs en thiols ?**

- Certaines souches de levure permettent une meilleure libération des thiols à partir de leurs précurseurs. L'utilisation d'un « cocktail » de plusieurs souches « révélatrices de thiols » peut être une bonne solution.
- Un débouillage d'intensité moyenne avec obtention d'un moût d'une turbidité de 150-200 NTU est favorable à la libération des thiols.
- Une température de fermentation de 18-19°C est plus favorable à la libération des thiols que les basses températures.
- Le potentiel aromatique est pénalisé par la présence de cuivre dans le moût. Il vaut mieux ainsi éviter les traitements cupriques au vignoble après la fermeture de la grappe.

### **Comment conserver le potentiel aromatique acquis dans les vins finis ?**

- Il est important d'éviter les conditions oxydantes et de limiter les composés favorables aux oxydations (polyphénols, Fer, Cuivre).
- La présence de dioxyde de soufre, glutathion et anthocyanes (en rouge et rosés) ont un effet protecteur contre la perte aromatique. L'utilisation de colles est envisageable (PVPP, PVI) pour limiter la présence de métaux et de quinones.
- Le vieillissement sur lies (avant la mise en bouteille) est une solution intéressante.
- La température de conservation des vins pendant l'élevage semble être capitale. Des travaux menés par l'IFV Sud-ouest pendant 2 ans en collaboration avec les vigneron indépendants de Gascogne ont montré que la température optimale de conservation pour préserver le « potentiel thiol » du cépage Colombard était de 4°C.

*La bibliographie de cette fiche pratique est disponible en ligne.*

#### **En savoir plus :**

- Fiche pratique sur les thiols sur notre site [www.vignevin-occitanie.com](http://www.vignevin-occitanie.com)
- Les bilans des expérimentations de l'IFV Sud-Ouest sur le sujet.
- Les articles de La Grappe d'Autan.



# Bibliographie

- Alegre, Y., Culleré, L., Ferreira, V. & Hernández-Orte, P. Study of the influence of varietal amino acid profiles on the polyfunctional mercaptans released from their precursors (2017).
- Anfang N., Brajkovich M. & Goddard M.R. Co-fermentation with *Pichia kluyveri* increases varietal thiol concentrations in Sauvignon Blanc, *Aust J. Grape Wine R2009*, 15, 1.
- Bertrand, C., Valérie, L. & Jordi, B. *Proceed of Wine Active Compounds*. 205-207 (2014).
- Bonnaïfoux, H. et al. First identification and quantification of S-3-(hexan-1-ol)- $\gamma$ -glutamyl-cysteine in grape must as a potential thiol precursor, using UPLC-MS/MS analysis and stable isotope dilution assay. *Food Chemistry* 237, 877-886 (2017).
- Boutrolle, I. Measurement of consumers' liking for food: current practices and methodological developments, *AgroParisTech*, (2007).
- Chone, X., Lavigne-Cruege, V., Tominaga, T., Van Leeuwen, C., Castagnede, C., Saucier, C. & Dubourdiu, D. Effect of vine nitrogen status on grape aromatic potential: Flavor precursors (S-cysteine conjugates), glutathione and phenolic content in *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon Blanc grape juice. *J. Int. Sci. Vigne Vin*. 40:1-6 (2006).
- Conn, S., Curtin, C., Bézier, A., Franco, C. & Zhang, W. Purification, molecular cloning, and characterization of glutathione S-transferases (GSTs) from pigmented *Vitis vinifera* L. cell suspension cultures as putative anthocyanin transport proteins. *Journal of Experimental Botany* 59, 3621-3634 (2008).
- Cordente, A. G., Curtin, C. D., Varela, C. & Pretorius, I. S. Flavour-active wine yeasts. *Applied Microbiology and Biotechnology* 96, 601-618 (2012).
- Darriet, P., Tominaga, T., Lavigne, V., Boidron, J. & Dubourdiu, D. Identification of a powerful aromatic compound of *Vitis vinifera* L. var. Sauvignon wines: 4-mercapto-4-methylpentan-2-one. *Flavour Fragrance J.* 10, 385 (1995).
- Dixon, D. P., Skipsey, M. & Edwards, R. Roles for glutathione transferases in plant secondary metabolism. *Phytochemistry* 71, 338-350 (2010).
- Dubourdiu, D. Effects of copper fungicide spraying on volatile thiols of the varietal aroma of Sauvignon blanc, Cabernet Sauvignon and Merlot wines. *Vitis Vol 40* (2001).
- Dufourcq, T., Schneider, R., Renard R. & Serrano E. Incidences of the climate, the soil and the harvest date on Colombard aromatic potential in Gascony. *Vlème International Terroir Congress*. Bordeaux, France : 391-395 (2006).
- Dufourcq, T. & Geffroy, O. Conditions de fermentation et expression des thiols volatils dans les vins. *Rencontre technique micro-organismes et gestion thermique*. Toulouse, France, IFV Sud-ouest: 46-48 (2008).
- Dufourcq, T. et al, Irriguer pour améliorer la teneur en thiols variétaux des vins blancs de colombard et gros manseng en côtes de Gascogne, vignobles sous influence climatique océanique. 19th International Meeting of Viticulture GIESCO (2015).
- Dufourcq, T., Lopez, F., Mille, B., Schneider R. & Delpuech X. Should Water Supply by Irrigation be soon a Technique to Manage Aromatic Potential of Colombard in South-Western France Gascony Vineyard? Bordeaux, oral communication, *Climwine Symposium* (2016).
- Dufourcq, T. et al. Foliar spraying of nitrogen and sulfur at veraison : a viticultural technique to improve aromatic composition of white and roses wines. 16th International GIESCO Symposium, Davis (USA) p379-383.
- Fedrizzi, B., Pardon, K. H., Sefton, M. A., Eelsey, G. M. & Jeffery, D. W. First Identification of 4-S-Glutathionyl-4-methylpentan-2-one, a Potential Precursor of 4-Mercapto-4-methylpentan-2-one, in Sauvignon Blanc Juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, 991-995 (2009).
- Galant, A., Preuss, M. L., Cameron, J. C. & Jez, J. M. Plant Glutathione Biosynthesis: Diversity in Biochemical Regulation and Reaction Products. *Frontiers in plant science* 2, 45 (2011).
- Geffroy, O., Fauveau, C., Dufourcq, T., Coarer M. & Poulard A. «Expression optimale du potentiel aromatique des vins de Sauvignon blanc par les souches de levures Fermicru 4F9 et Collection Cépage Sauvignon – intérêt des mélanges.» *Revue Française d'Œnologie* 245 : 2-9 (2011).
- Hernández-Orte, P., Cacho, J.-F. & Ferreira, V. Relationship between varietal amino acid profile of grapes and wine aromatic composition. Experiments with model solutions and chemometric study (2002).
- Howell, K. S., Swiegers, J. H., Eelsey, G. M., Siebert, T. E, Bartowsky, E. J., Fleet, G. H., Pretorius, I. S. & de Barros Lopes, M.A. Variation in 4-mercapto-4-methyl-pentan-2-one release by *Saccharomyces cerevisiae* commercial wine strains. *FEMS Microbiology Letters* (2004).
- Kaur, H., Kumar, C., Junot, C., Toledano, M. B. & Bachhawat, A. K. Dug1p is a Cys-Gly Peptidase of the  $\gamma$ -Glutamyl Cycle of *Saccharomyces cerevisiae* and Represents a Novel Family of Cys-Gly Peptidases. *The Journal of Biological Chemistry* 284, 14493-14502 (2009).
- Kritzinger, E. C., Bauer, F. F. & du Toit, W. J. Role of Glutathione in Wine-making: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61, 269-277 (2013).
- Lacroux, F., Tregoat, O., Van Leeuwen, C., Pons, A., Tominaga, T., Lavigne-Cruege, V. & Dubourdiu D. Effect of foliar nitrogen and sulphur application on aromatic expression of *vitis vinifera* L cv Sauvignon blanc. *J Int des Sci la Vigne du Vin*. 42 :125-32 (2008).
- Lam-Son Phan Tran, Mohammad Anwar H. Mohammad Golam M. Pedro D.-V. David J. B. Masayuki F. Glutathione in Plant Growth, Development, and Stress Tolerance.
- Lytra, G. et al. How dimethyl sulfide would effect red wines black-berry fruit aroma? 14th Weurman Flavour Research Symposium 15-19, (2014).
- Masneuf, I., Murat, M.-L., Naumov, G.I., Tominaga, T. & Dubourdiu, D. Hybrids *Saccharomyces cerevisiae* x *Saccharomyces bayanus* var. *Uvarum* having a high liberating ability of some sulfur varietal aromas of *vitis vinifera* Sauvignon blanc wines, *D. J. Int. Sci. Vigne Vin*. 36, 205 (2002).

Masneuf-Pomarède, I., Mansour, C., Murat, M.-L., Tominaga, T. & Dubourdieu, D. Influence of fermentation temperature on volatile thiols concentrations in Sauvignon blanc wines. *International Journal of Food Microbiology* 108, 385-390 (2006).

Noctor, G. et al. Glutathione in plants: an integrated overview. *Plant, Cell & Environment* 35, 454-484 (2012).

Peyrot des Gachons, C., Tominaga, T. & Dubourdieu, D. Measuring the Aromatic Potential of *Vitis vinifera* L. Cv. Sauvignon Blanc Grapes by Assaying S-Cysteine Conjugates, Precursors of the Volatile Thiols Responsible for Their Varietal Aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 3387-3391 (2000).

Peyrot des Gachons, C. P. et al. Influence of water and nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potential of *Vitis vinifera* L. cv Sauvignon blanc in field conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85, 73-85 (2005).

Pineau, B., Barbe, J. C., Van Leeuwen, C. & Dubourdieu, D. Examples of perceptive interactions involved in specific "red-and-black-berry" aromas in red wines. *J. Agric. Food Chem.* 57, 3702 (2009).

Pinu, F. et al. Concentrations of the Volatile thiols 3-mercaptohexanol in Sauvignon blanc wines: no correlation with juice precursors.

Prescott, J., Norris, L., Kunst, M. & Kim, S. Estimating a "consumer rejection threshold" for cork taint in white wine. *Food Quality and Preference* 16, 345-349 (2005).

Rigou, P., Triay, A. & Razungles, A. Influence of volatile thiols in the development of blackcurrant aroma in red wine. *Food Chemistry* 142, 242-248 (2014).

Roland, A., Schneider, R., Razungles, A. & Cavelier, F. Varietal thiols in wine: discovery, analysis and applications. *Chem. Rev.* 111, 7355 (2011).

Roland, A. et al. Distribution of varietal thiol precursors in the skin and the pulp of Melon B. and Sauvignon Blanc grapes. *Food Chem.* 125, 139 (2011).

Schneider, R., Charrier, F., Razungles, A. & Baumes, R. Evidence for an alternative biogenetic pathway leading to 3-mercaptohexanol and 4-mercapto-4-methylpentan-2-one in wines. *Analytica Chimica Acta* 563, 58-64 (2006).

Sivilotti, P., Falchi, R., Carlos Herrera, J. & Vanzo, A. Combined Effects of Early Season Leaf Removal and Climatic Conditions on Aroma Precursors in Sauvignon Blanc Grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65(38) (2017).

Suklje, K., Basa Cesnik, H. & Janes, L. The effect of leaf area to yield ratio on secondary metabolites in grapes and wines of *Vitis vinifera* L. CV. Sanvignon Blanc. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 47(2):83097 (2003).

Swiegers, J. H. et al. The influence of yeast on the aroma of Sauvignon Blanc wine. *Food Microbiology* 26, 204-211 (2009).

Thibon, C. et al. Nitrogen catabolic repression controls the release of volatile thiols by *Saccharomyces cerevisiae* during wine fermentation. *FEMS Yeast Research* 8, 1076-1086 (2008).

Thibon, C., Dubourdieu, D., Darriet, P. & Tominaga, T. Impact of noble rot on the aroma precursor of 3-sulfanyhexanol content in *Vitis vinifera* L. cv Sauvignon blanc and Semillon grape juice. *Food Chemistry*, 114 (4), 1359-1364 (2009).