

Quels impacts attendus du changement climatique sur les composés aromatiques et leurs précurseurs ?

Darriet P.¹, Pons A.^{1,4}, Allamy L.¹, Schüttler A.^{2,1}, van Leeuwen C.³, Thibon C.¹

¹ Université de Bordeaux, Unité de Recherche CEnologie, EA 4577, USC INRA, ISVV, F-33140 Villenave d'Ornon, France.

² Hochschule Geisenheim University, Department of Microbiology and Biochemistry, Von-Lade-Str. 1, 65366 Geisenheim, Germany

³ Bordeaux Sciences Agro, ISVV, UMR Ecophysiologie et Génomique Fonctionnelle de la Vigne, UMR 1287, F-33140 Villenave d'Ornon, France.

⁴ Seguin Moreau France, Z.I. Merpins, B.P. 94, F-16103 Cognac, France

Email: philippe.darriet@u-bordeaux.fr

Introduction

La composante aromatique du vin constitue un critère déterminant de sa qualité sensorielle. Cette qualité repose sur la perception de nuances aromatiques de niveaux d'intensité et de complexité variable, souvent associées à l'expression d'un cépage ou d'un mélange de variétés, modulées par le terroir et pouvant ainsi contribuer à la reconnaissance d'une typicité ou d'une identité sensorielle. La composante aromatique est due à la présence dans les vins de composés appartenant à de nombreuses familles de composés volatils contribuant directement par leurs notes végétales, florales, fruitées... ou au travers des phénomènes sensoriels complexes impliquant les composés volatils en mélange. De plus, la préservation, au cours de la conservation des vins, de cette composante aromatique typique, éventuellement enrichie par la venue d'un bouquet de vieillissement réducteur constitue la signature et la spécificité de grands vins issus de raisins ayant muri sous climat tempéré.

Les perspectives de changement climatique au cours du siècle à venir conduisent à s'interroger sur les répercussions que pourraient avoir une élévation moyenne des températures sur le potentiel aromatique des raisins et de la qualité des vins. Sont ainsi présentées dans cette communication des connaissances ayant trait à l'impact de différents paramètres écophysiologiques de la vigne sur des composés de l'arôme des vins. Ces connaissances ont pour vocation de nous aider à nous projeter sur les conséquences susceptibles d'être observées pour les vins dans le cadre d'une modification du climat.

1. Bref rappel sur la composante aromatique des vins

La diversité des nuances aromatiques perçues lors de la dégustation du vin repose sur une combinaison de composés volatils, au moins une cinquantaine dans l'espace de tête au dessus d'un verre de vin, qui constituent des stimuli au niveau de l'épithélium olfactif avant d'être transformés en influx nerveux et devenir des sensations dans le champ de la conscience (Shepherd *et al.* 2006). Depuis une quarantaine d'années, près de 1000 composés volatils ont ainsi été identifiés dans le vin dont les teneurs varient de plusieurs centaines de milligrammes par litre à des niveaux vraisemblablement inférieurs à la dizaine de picogrammes par litre. Les seuils de détection olfactive de ces composés sont aussi extrêmement variables situés pour les composés les plus odorants dans les gammes de concentrations du picogramme par litre jusqu'à la dizaine de milligrammes par litre pour les composés les moins odorants. Ainsi, certains composés présents à l'état de traces peuvent jouer un rôle important dans l'arôme des vins alors que d'autres beaucoup plus abondants y interviennent de façon mineure. Parmi les composés de l'arôme, la distinction est faite entre plusieurs groupes de composés volatils. Il s'agit d'abord des *composés d'origine strictement fermentaire* produits par les microorganismes du vin (levure *S.cerevisiae*, bactéries lactiques) qui participent aux nuances florales, fruitées, lactées de l'arôme fermentaires des vins jeunes en particulier les principaux esters éthyliques d'acides gras et acétates d'alcools supérieurs. Sont

ensuite considérés les *composés issus du métabolisme secondaire des raisins*, présents dans les vins issus de nombreux cépages tels les dérivés de caroténoïdes β -damascénone (compote de pomme, floral), β -ionone (floral, violette), TDN (nuances de kérosène), vitispirane (nuances boisées camphrées), les lactones (notes fruitées noix de cocos et notes de pêche, abricot) et les furanones (notes de caramel, sucre cuit), et en particulier ceux qui plus particulièrement associés à l'arôme de certaines variétés |monoterpènes (notes florales caractéristiques de variétés muscatées), sesquiterpène telle rotundone aux notes de poivre noir, thiols volatils (composés souffrés présentant des notes de buis de pamplemousse ou fruit de la passion dans l'arôme typique des vins de Sauvignon blanc et de nombreux cépages blanc et noirs (Colombard, Chenin, Gewürztraminer, Sémillon, Petit Manseng, Arvine, Colombard, Merlot, Cabernet Sauvignon...), voire des notes empyreumatiques associées au bouquet de vieillissement des vins), méthoxy-pyrazines (notes de poivron vert, cosse de pois). La plupart des composés existent sous des formes précurseurs dans les fruits |(formes volatiles hydroxylées (ex polyols peu odorants) ou glycosides pour les monoterpènes et dérivés C13 norisoprénoides, formes S-conjugués pour les précurseurs de thiols, produits de réactions de Maillard (furanones), dérivés de lipides (lactones)| dont les concentrations, à l'exception des méthoxy-pyrazines, s'accumulent dans les raisins au cours de leur maturation en fonction des conditions du climat (température, luminosité), de la disponibilité de l'eau et de composés organiques ou minéraux, des caractéristiques physiologiques de la vigne de la vigne. La formation de ces composés est associée à des réactions chimiques et enzymatiques, qui dépendent de l'état physiologique de la baie, impactées par les conditions écophysiologiques de la vigne mais dont la connaissance des mécanismes n'est aujourd'hui que fragmentaire.

2. Modulation du couple température/lumière des grappes et composante aromatique des vins

Faisant écho à la présentation de Kees Van Leeuwen, la première conséquence d'un accroissement des températures moyenne au cours de la maturation des raisins sera de limiter les notes végétales herbacées des vins, notes liées en partie aux méthoxy-pyrazines, en particulier la 2-méthoxy-3-isobutylpyrazine (IBMP). Ce composé comme les autres pyrazines de la même famille, évoque des notes de poivron immature -poivron vert-, de cosse de pois et constitue un caractère variétal des vins, vinifiés à partir de raisins immatures, de la famille des Carmenets, en particulier le Cabernet franc, le Fer Servadou, le Cabernet Sauvignon, la Carmenère, le Merlot ainsi que le Sauvignon blanc. Les travaux de Allen (1993) puis Falcao *et al.* (2007), ont montré que les teneurs en IBMP dans les vins sont plus faibles lorsque la température est plus élevée pendant la période végétative (Allen *et al.* 1993; Falcao *et al.* 2007) (Figure 1). Ce phénomène est amplifié par l'exposition des raisins à la lumière et la soustraction des feuilles basales qui constituent les puits en IBMP (Ryona *et al.* 2009; Gregan *et al.* 2012). Inversement, le contenu en IBMP est plus important dans les raisins provenant de

vignes vigoureuses avec une forte densité de végétation (Allen *et al.* 1993). Néanmoins, comme cela est parfois observé, des situations de stress hydrique de la vigne ayant pour conséquence un arrêt de maturation pourraient maintenir dans les raisins des concentrations en IBMP susceptibles d'impacter sur la composante aromatique des vins.

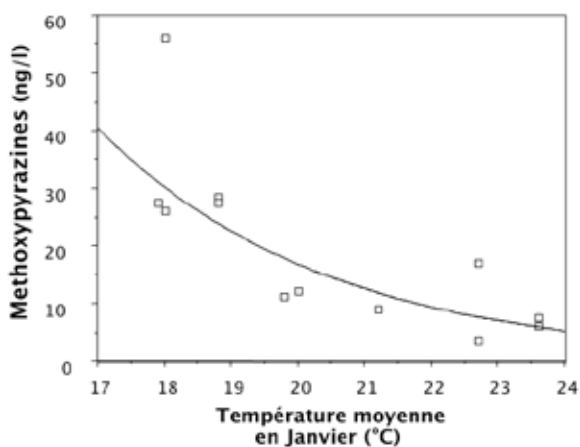


Figure 1 – Teneur en 2-méthoxy-3-isobutylpyrazine (IBMP) dans des vins de Cabernet Sauvignon en fonction de la température moyenne estivale en Australie pendant la maturation des raisins (Allen *et al.*, 1993).

Inversement, les concentrations en dérivés de caroténoïdes en particulier C13 norisoprénoides seront plus élevées dans un contexte amplifié d'exposition lumineuse/température des raisins. Ces phénomènes s'interprètent par une dégradation accrue des caroténoïdes du raisin, entre véraison et maturité. En particulier, le TDN, composé impliqué dans les nuances pétrolées ou kérosène des vins de Riesling qui sont formées au cours du vieillissement en bouteille, sont toujours plus importantes avec une maturation des raisins sous climat chaud (Marais *et al.*, 1992ab). Une observation non systématique pour d'autres dérivés C13 norisoprénoides, tel la β -damascenone, eu égard la complexité des mécanismes réactionnels conduisant à sa formation partir de formes précurseurs. Ainsi, deux auteurs rapportent des concentrations en β -damascenone plus faibles dans des variétés blanches en conditions d'exposition à la lumière et température plus élevées (Marais *et al.* 1992ab, Kwasiński *et al.* 2013). D'une manière plus large, les travaux concernant les arômes et précurseurs d'arôme de nuances fruitées et florales (monoterpènes) soulignent le bénéfice de températures plus élevées pendant la maturation mais une caractéristique préjudiciable sur le métabolisme du fruit en situation de stress.

Par ailleurs, des travaux récents ont été menés à Bordeaux concernant la composante aromatique de vins rouges issus de raisins noirs surmurs (notes de fruit confituré, pruneau figue). Ils démontrent dans ces vins une plus grande abondance de composés appartenant

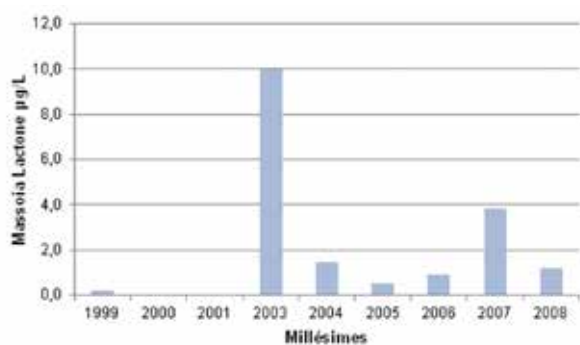


Figure 2 – Teneur en 5,6-dihydro-6-pentyl-2(2H)-pyranone (appelé massoia lactone) dans les vins d'une même propriété de Pomerol (Bordeaux) entre les millésimes 1999 et 2008 (Pons *et al.*, 2011).

aux familles chimiques des lactones et furanones et la contribution directe de ces composés aux nuances aromatiques indiquées (Allamy et Pons, 2015, Allamy, 2015). D'ailleurs, l'analyse de différents millésimes d'une propriété de Pomerol, élaborés à partir d'une forte proportion de Merlot, a montré des concentrations plus élevées en 5,6-dihydro-6-pentyl-2(2H)-pyranone (appelée aussi massoia lactone et évoquant la figue) au cours d'années présentant des températures moyennes plus élevées, qu'elle soit plutôt sèche (2003) ou humide (2007) (Figure 2). Vraisemblablement, la perception de nuances de fruit surmurs, telles qu'elles ont pu être perçues dans des millésimes caniculaires fait partie des conséquences les plus attendues du réchauffement climatique.

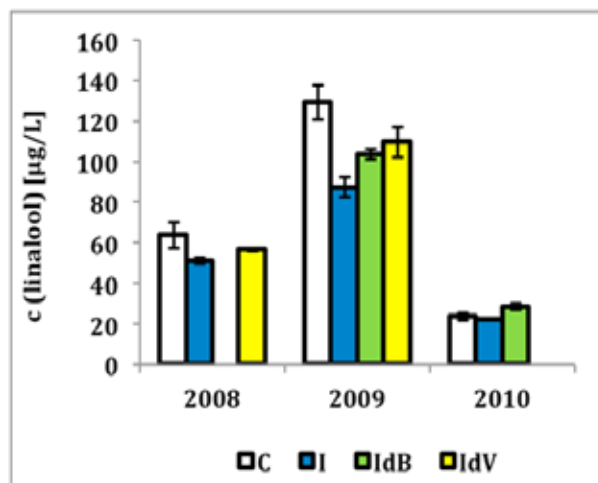
3- Le régime hydrique de la vigne, un paramètre complémentaire influençant le potentiel aromatique des raisins

L'une des conséquences indirecte d'un réchauffement climatique est de modifier le régime hydrique de la vigne, ce qui va évidemment impacter sur la physiologie de la plante (Van Leuwen *et al.* 2016) ainsi que sur la biosynthèse de composés d'arôme et de leurs précurseurs. S'agissant de précurseurs de thiols volatils, il a été établi un lien entre la présence d'une contrainte hydrique modérée de la vigne et l'accumulation de précurseurs S-conjugués, la contrainte hydrique conduisant à un arrêt de croissance des rameaux et à l'accumulation de métabolites secondaires dans la baie. Inversement, une forte contrainte hydrique altère la maturation des raisins et conduit à une limitation de la teneur en précurseurs de thiols volatils dans le raisin (Peyrot des Gachons *et al.*, 2005).

Les travaux de thèse d'Armin Schüttler conduits à l'Institut de Geisenheim sur la variété Riesling ont permis d'étudier pendant plusieurs années sur un même site l'impact du régime hydrique de la vigne ainsi que plusieurs pratiques d'effeuillage sur plusieurs familles chimiques (monoterpènes, thiols volatils, dérivés C13 norisoprénoides). La première observation concerne le fait que les conséquences de la contrainte hydrique sur les arômes et les précurseurs d'arômes du raisin sont variables selon la famille de composés d'arôme considérée (Schüttler *et al.* 2011, 2013, figure 3). La teneur en linalol (monoterpène) est la plus importante dans la modalité témoin (contrôle C) en 2008 et surtout 2009 millésime pour lequel la contrainte hydrique a été plus importante que pour les modalités irriguées (contrainte hydrique modérée en 2008, sévère en 2009 avec défoliation), pas de contrainte hydrique en 2010. L'effeuillage, conduit à un accroissement des teneurs en monoterpènes. Le contenu en 3-sulfanylhexanol (3SH) des vins, analysé en 2009 n'est pas significativement modifié par un effeuillage, améliorant l'exposition des grappes, qu'il soit précoce ou tardif alors que le contenu en thiols volatil est beaucoup plus faible dans les modalités avec forte contrainte hydrique ainsi que Peyrot des Gachons l'avait observé. Ainsi des conditions de régime hydrique qui seraient être trop contraignante nécessiteraient une adaptation du matériel végétal.

S'agissant de la (-) rotundone, composé associé aux notes de poivre noir des vins de Syrah et participant à l'arôme de la variété Duras (Geffroy *et al.* 2014), les travaux de Scarlett *et al.* 2014 ont observé des contenus plus faibles de ce composé dans les vins issus de vignes avec des contraintes hydriques plus importantes. Ainsi, les conséquences cumulées d'augmentations de température et de régimes hydriques plus contraignants sont à l'origine d'une modification du métabolisme des fruits, pouvant conduire parfois à des arrêts de maturation. Aussi, les conséquences des contraintes hydriques sur la biosynthèse du potentiel aromatique des raisins pourraient être plus marquées dans des conditions où les températures nocturnes resteraient à des niveaux élevés. Il est donc important de préciser plus finement au cours des années à venir les conséquences directes liées à la modification de ces paramètres, ainsi que de leur ampleur, non seulement sur le potentiel aromatique des raisins mais aussi sur la qualité et perception sensorielle des vins.

3-I



3-II

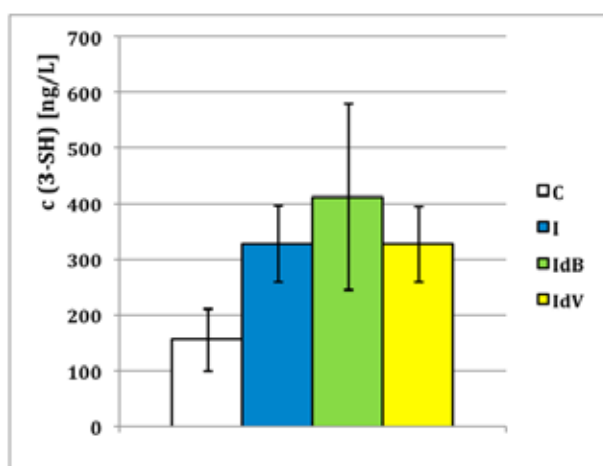


Figure 3I-II – Teneur du vin en linalol (monoterpène) (3-I) et en 3-sulfanylhexan-1-ol (thiol) année 2009 (3-II) en fonction de la contrainte hydrique et de l'exposition des grappes. (C) modalité non irriguée avec contrainte hydrique modérée en 2008, forte en 2009, très faible en 2010 ; (I) modalité irriguée avec contrainte hydrique faible en 2008, modérée en 2009, très faible en 2010 ; (IdB) modalité avec irrigation et effeuillage précoce et (IdV) modalité avec irrigation et effeuillage à la véraison. Les modalités de contraintes hydriques sont identiques pour les modalités (I), (IdB), (IdV) (d'après Schüttler *et al.*, 2011, 2013).

4- Potentiel de vieillissement des vins

La modification du potentiel aromatique des raisins pendant la maturation risque aussi d'influencer la biosynthèse d'autres métabolites de la baie qui par leurs propriétés réactionnelles impactent la composante aromatique. Il s'agit des composés phénoliques et du glutathion. Ainsi, au cours d'années sèches, les raisins de Sauvignon blanc sont plus riches en flavan-3-ols (tannins) et moins riches en glutathion, un anti-oxydant important pour limiter les risques de vieillissement aromatique prématuré des vins. L'analyse des teneurs en glutathion (Pons *et al.*, 2015, figure 4) dans les moûts de Sauvignon d'une même propriété viticole montre des écarts importants dans les niveaux de concentration de ce composé dans les raisins.

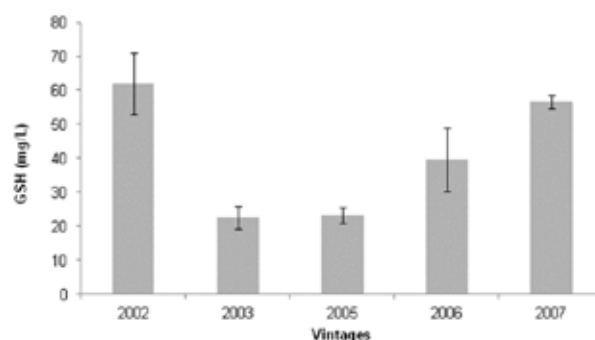


Figure 4 – Teneur moyennes en glutathion de moûts de Sauvignon blanc récoltés à maturité dans deux crus de Graves (Bordeaux) pour les années 2002 à 2007 (Pons *et al.*, 2015).

5. Stratégies adaptatives

Depuis les 20 dernières années, dans les vignobles de climat tempéré, eu égard à la précocité des millésimes et la récolte de plus en plus tardive des raisins, les caractères végétaux liés à un manque de maturité des raisins sont de moins en moins perçus. Aussi, les vins peuvent exprimer toute leur potentialité de composantes florales et fruitées, associées à la fraîcheur, parfois le fruit cuit, composante souvent guidée par le choix des vinificateurs. Les perspectives de changement climatique risquent d'impacter significativement à la fois les caractéristiques organoleptiques des vins et leur potentiel de vieillissement, en particulier par la diminution du niveau d'acidité des raisins et des vins.

La vigilance dans le choix de dates de récolte, l'adaptation du mode de conduite de la vigne (limitation de l'effeuillage, adaptation de la charge, vigilance sur la nutrition minérale et azotée, vigueur suffisante, contrainte hydrique non excessive) constituent de premières stratégies d'adaptation en vue de la préservation du potentiel aromatique des raisins. Par ailleurs, dans le cadre de replantations, la diversité clonale au sein des variétés peut constituer un vivier pour l'adaptation. Dans le cas de changement climatique plus extrême, de nouvelles variétés pourront constituer des alternatives après appréciation de leur potentialités à révéler dans leurs composante aromatique et gustative la diversité des terroirs. Une grande interrogation concerne l'évolution du régime des précipitations avec leurs conséquences potentielles sur le développement de pathogènes. Ainsi dans un contexte de changement important ou limité des caractéristiques du climat, il reste, pour les chercheurs et expérimentateurs à œuvrer en vue d'analyser les conséquences précises de ces phénomènes multiparamétriques sur la composante aromatique et gustative des vins et leur potentiel de vieillissement. Des travaux ont été engagés dans ce sens.

Références

- ALLAMY L., DARRIET P., PONS A., 2015. Incidence de la date de récolte sur l'arôme des moûts et des vins des cépages Merlot et Cabernet Sauvignon; Approches analytiques et sensorielle Actes du 19ième Colloque du Giesco, Juin 2015.
- ALLEN, M. S.; LACEY, M.J. 1993. Methoxypyrazine grape flavour : Influence of climate, cultivar and viticulture Wein-Wiss 48, 211-213.
- FALGAO L., DE REVEL G., PERELLO M., MOUTSIU A., SANUS M. and BORDIGNON-LUIZ M., 2007. A survey of seasonal temperatures and vineyard altitude influences on 2-methoxy-3-isobutylpyrazine, C13-norisoprenoids and the sensory profile of Brazilian Cabernet Sauvignon wines. J Agric Food Chem, 55, 3605-3612.
- GEFFROY O., DUFOURCQ T., CARCENAC D., SIEBERT T., HERDERICH M., AND SERRANO E., 2014. Effect of ripeness and viticultural techniques on the rotundone concentration in red wine made from Vitis vinifera L. cv. Duras. Aust. J. Grape Wine Res., 20, 401-408.
- GREGAN S.M., WARGENT J.J., LIU L., SHINKLE J., HOFMANN R., WINEFIELD C., TROUGHT M., JORDAN B., 2012. Effects of solar ultraviolet radiation and canopy manipulation on the biochemical composition of Sauvignon blanc grapes. Australian Journal of Grape and Wine Research 18, 227-238.
- KWASNIEWSKI M. T., VANDEN HEUVEL J. E., PAN B. S., SACKS G. L. 2010. Timing of cluster light environment manipulation during grape development affects C13- nori-

soprenoid and carotenoid concentrations in Riesling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(11), 6841–6849.

MARAIS J., VAN WYK C., RAPP A., 1992a. Effect of sunlight and shade on norisoprenoid levels in maturing weisser Riesling and Chenin blanc grapes and Weisser Riesling wines. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 13, 23-32.

MARAIS J., VAN WYK C., RAPP A., 1992b. Effect of storage time, temperature and region on the levels of 1,1,6-Trimethyl-1, 2-dihydronaphthalene and other volatiles, and on quality of Weisser Riesling wines, *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 13, 33-44.

PEYROT DES GACHONS C., VAN LEEUWEN C., TOMINAGA T., SOYER J.-P., GAUDIL-
LERE J.-P. and DUBOURDIEU D., 2005. The influence of water and nitrogen deficit on
fruit ripening and aroma potential of *Vitis vinifera* L. cv Sauvignon blanc in field conditions.
J. Sci. Food Agric., 85, n°1, 73-85.

PONS A., LAVIGNE V., DARRIET P. and DUBOURDIEU D. 2011. Identification et impact or-
ganoleptique de la massola lactone dans les moûts et les vins rouges. *Oenologie* 2011, 9e
Symposium International d’Œnologie, Bordeaux, 15-17 juin 2011. Dunod ed., pp 851-854.

PONS A., LAVIGNE V., DARRIET P. and DUBOURDIEU D. 2015. Enological aspects of
glutathione preservation during winemaking with *Vitis vinifera* white varieties: example of
Sauvignon blanc grapes. *Am. J. Enol. Vitic.*

RYONA, I.; PAN, B. S.; INTRIGLILOLO, D. S.; LAKSO, A. N.; SACKS, G. L. 2008. Effects
of cluster light exposure on 3-isobutyl-2-methoxy-pyrazine accumulation and degradation
patterns in red wine grapes (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet franc) *J. Agric. Food Chem.* 56,
(22), 10838-10846.

SCARLETT N., BRAMLEY R. and SIEBERT T., 2014. Within-vineyard variation in the
'pepper' compound rotundone is spatially structured and related to variation in the land
underlying the vineyard. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 20, 214-222.

SHEPHERD, G. M. 2006. Smell images and the flavour system in the human brain *Nature*
444, (7117), 316-21.

SCHÜTTLER A., GRUBER B., THIBON C., LAFONTAINE M., STOLL M., SCHULTZ H.,
RAUHUT D. and DARRIET Ph., 2011. Influence of environmental stress on secondary
metabolite composition of *Vitis vinifera* var. Riesling grapes in cool climate region – water
status and sun exposure. *Œnologie* 2011, 9e Symposium International d’Œnologie,
Bordeaux, 15-17 juin 2011. Dunod ed., pp 65-70.

SCHÜTTLER A., FRITSCH S., HOPPE J.E., SCHÜSSLER C., JUNG R., THIBON C.,
GRUBER B.R., LAFONTAINE M., STOLL M., DE REVEL G., SCHULTZ H.R., RAUHUT D.,
DARRIET Ph., 2013. Facteurs influençant la typicité aromatique des vins du cépage de *Vitis*
vinifera cv. Riesling- Aspects sensoriels, chimiques et viticoles. *Rev. Œnol.*, 149S, 36-41.

VAN LEEUWEN C., DARRIET Ph. 2016. Le changement climatique en viticulture : les leviers
d’adaptation au vignoble. 3èmes Assises des Vins du Sud-Ouest.