



Faire face aux vagues de chaleur : points clés pour mettre en œuvre des stratégies d'atténuation visant à assurer la survie des baies

Julia Gouot-Davoust¹, Celia Barriol², Jason Smith^{2,4}, Bruno Holzapfel^{3,4}, Leigh Schmitke^{2,4}, Joanna Gambetta⁵

¹ VITINNOV, Bordeaux Sciences Agro, ISVV, F-33175 Gradignan cedex, France

² School of Agricultural, Environmental and Veterinary Sciences, Faculty of Science and Health, Charles Sturt University, Locked Bag 588, Wagga Wagga, 2658, NSW, Australia

³ Wagga Wagga Agriculture Institute, NSW Department of Primary Industries and Regional Development, Pine Gully Road, Wagga Wagga, NSW 2650,

⁴ Gulbali Institute, Charles Sturt University, Mumbarra Drive, Wagga Wagga, New South Wales 2678

⁵ School of Environmental and Life Sciences, The University of Newcastle, Brush Road, Ourimbah, NSW 2258, Australia

Réaction des plantes à la chaleur

La chaleur extrême et les vagues de chaleur causent des dégâts plus ou moins importants, en fonction de leur durée, de leur intensité, du moment où elles se produisent et de la présence d'autres facteurs de stress environnementaux¹. En général, la hausse des températures tend à réduire la photosynthèse et à augmenter la transpiration. Si les vignes peuvent tolérer la chaleur et la sécheresse individuellement, elles ont du mal à faire face aux vagues de chaleur dans des conditions de déficit hydrique. Le stress hydrique est exacerbé par le fait que les plantes retardent la fermeture des stomates pour réguler les augmentations de température, en particulier dans les variétés anisohydriques et dans les sols à fort drainage (par exemple, sableux). Sous l'effet simultané d'une chaleur extrême et d'un stress hydrique, une défaillance hydraulique et une mort cellulaire se produisent, entraînant le flétrissement des feuilles, ce qui augmente l'exposition des fruits et la température des grappes. Le stress thermique affecte considérablement la composition du raisin et la qualité du vin, modifiant la teneur en sucres, en acides, en acides aminés et en métabolites secondaires², et entraînant une baisse de la qualité et des vins déséquilibrés avec une teneur en éthanol plus élevée.

Dégâts sublétaux et létaux aux baies

Les épisodes de chaleur peuvent être classés comme sublétaux ou létaux en fonction de la température et du degré de dégâts. Alors que les épisodes sublétaux (> 35 °C) modifient la composition des baies et diminuent la qualité globale, les épisodes létaux (> 40 °C) entraînent généralement des pertes de rendement importantes.

Le brunissement dû aux coups de soleil (SB), une forme de dégât sublétal, est causé par une combinaison de rayonnement élevé et de température élevée. Il est observé principalement après la véraison et se manifeste par des taches jaunes, brunes ou couleur bronze sur la face exposée au soleil du fruit ; la couleur de ces lésions dépendra de la couleur des baies et est plus évidente sur les raisins blancs que sur les raisins noirs¹. Les principaux symptômes du SB sont observés sur la pellicule qui perd sa couleur verte en raison de la dégradation de la chlorophylle, devient brune en raison de l'oxydation des polyphénols³ et s'épaissit. Les raisins blancs affectés développent des lésions brunes, tandis que les raisins noirs perdent leur couleur en raison de la dégradation des anthocyanes. Bien que des changements dans la teneur en sucre et en acide aient été signalés, le SB affecte principalement la pellicule et n'affecte pas la pulpe, les autres effets semblant être principalement liés à la température élevée plutôt qu'au SB lui-même. De faibles niveaux de SB induisent une accumulation de composés aromatiques importants tels que le linalol et l' α -terpinène, mais des niveaux de dégâts plus élevés entraînent leur dégradation et la perte des arômes floraux et fruités positifs ainsi que de la typicité du vin. En général, les coups de soleil entraînent une dégradation du fruit et des pertes économiques pouvant atteindre 50 % de la valeur de la récolte pour les viticulteurs. Il est difficile de trouver des informations sur les conséquences des SB sur la qualité du vin, mais quelques rapports ont indiqué une augmentation de l'amertume et du brunissement (oxydation) des vins blancs. Les vignes soumises à un stress hydrique sont moins sensibles au SB en raison d'une meilleure adaptation à la lumière et de la présence de composés photoprotecteurs¹.

Des dégâts (létaux) importants et une nécrose due aux coups de soleil (SN) peuvent généralement être observés lorsque la température de l'air dépasse

Les épisodes de chaleur extrême sont devenus plus fréquents et peuvent avoir un impact significatif sur les cultures agricoles, y compris la viticulture. Depuis les années 1970, la durée et la fréquence de ces épisodes ont augmenté, entraînant des pertes de rendement ainsi que des modifications néfastes de la composition du raisin dues à des changements techniques, aromatiques et phénoliques, en plus d'autres problèmes comme les brûlures solaires¹. Il est essentiel de comprendre pourquoi, quand et comment ces phénomènes se produisent afin d'atténuer les effets de la chaleur extrême sur le raisin, la vigne et le vin et d'assurer la durabilité des vignobles, le rendement et la qualité du vin².

40 °C, bien que la température à la surface du fruit (FST) soit un meilleur indicateur que la température ambiante, car la FST peut être supérieure de 12 à 15 °C. La SN entraîne la mort des cellules, le flétrissement de baies entières et des pertes de rendement importantes. Une proportion accrue de baies flétries récoltées peut également avoir un impact sur la couleur et l'arôme du vin (Figures 1A, B). Les seuils de température létaux pour les baies varient en fonction de la phénologie en raison des changements de composition : les baies de Shiraz avant la véraison souffrent de nécrose à partir d'une FST de 43 °C et à partir de 55 °C après la véraison^{4,5,6}. D'autres études ont également examiné le seuil de température létale pour le Riesling, le Bacchus et le Calardis blanc⁷. Dans l'ensemble, les résultats suggèrent que la température létale pour les baies de *Vitis vinifera* varie de 37 °C (floraison) à 50 °C (pendant la maturation) (Figure 1C).

La sensibilité du raisin au SB et au SN varie selon la variété, le stade de développement, la couleur de la pellicule, l'emplacement de la grappe et la vitesse du vent. Des recherches récentes ont montré qu'à des vitesses de vent plus élevées, l'incidence et la gravité du SN diminuent en raison de la baisse de la FST des baies⁷, ce qui contredit les effets « sèche cheveux » parfois signalés par les viticulteurs. Quelle que soit la couleur de la pellicule,

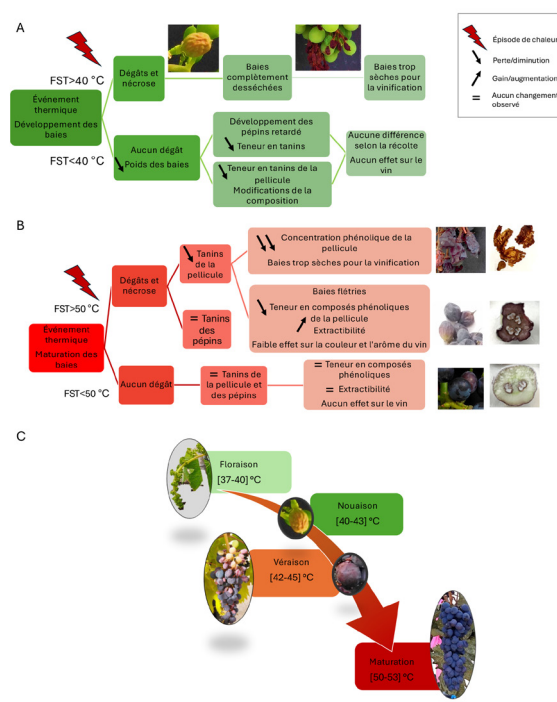


FIGURE 1. Effet des épisodes de chaleur avant (A) et après la véraison (B) sur le développement des baies et la composition du raisin et du vin en fonction de la température à la surface du fruit (FST) et (C) Plages de températures à la surface des baies à partir desquelles des dégâts létaux peuvent survenir pour les fleurs et les baies de *Vitis vinifera*.

Les sources utilisées pour cette figure sont disponibles sur demande auprès des auteurs.

les variétés noires et blanches peuvent subir de graves dégâts causés par les SB et les SN. Parmi les variétés blanches, le Muscat d'Alexandrie et le Riesling sont très sensibles au SB, tandis que le Sauvignon Blanc et le Chardonnay sont plus tolérants. Les raisins sont confrontés à des périodes de vulnérabilité distinctes en ce qui concerne les dégâts causés par la chaleur : le risque de SB est le plus élevé après la véraison, tandis que le SN menace principalement les baies au cours des premiers stades de développement. Il est essentiel que les producteurs identifient ces périodes critiques afin de pouvoir intervenir de manière efficace au moment opportun.

Stratégies d'atténuation des effets des vagues de chaleur

Le succès de toute stratégie d'atténuation dépend de la compréhension du moment où les baies sont exposées à des dégâts létaux (Figure 1C), du fait que la FST diffère de la température de l'air prévue et de l'efficacité des stratégies choisies.

La plupart des stratégies consistent à maximiser le refroidissement par transpiration et à minimiser l'interception du rayonnement afin de maintenir les canopées et les raisins aussi frais que possible. Pour ce faire, les méthodes comprennent l'augmentation de l'irrigation, la gestion de la canopée (taille, type/hauteur des troncs, effeuillage), l'ombrage, la gestion des rangs intermédiaires, les sprays réfléchissants, les brumisateurs dans la canopée, la conception du vignoble (orientation des rangs, cultures de couverture) et du choix des variétés⁸ (Figure 2). Ces stratégies ont une efficacité variable et peuvent être classées en fonction de leur capacité à réduire la température de l'air/de la canopée et la température de surface (Figure 3). Elles varient également en termes de coût, de durabilité et d'échelle à laquelle elles peuvent être mises en œuvre. Leur efficacité dépendra des températures

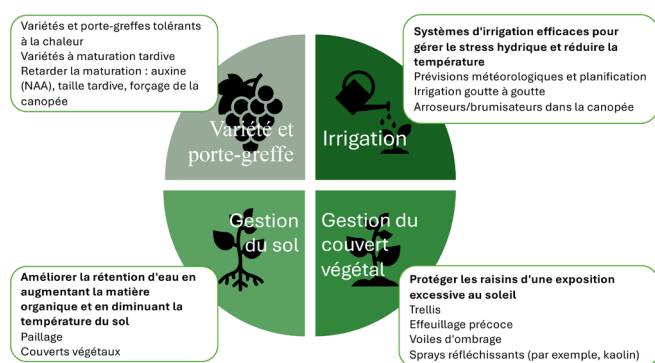


FIGURE 2. Stratégies d'atténuation des vagues de chaleur.

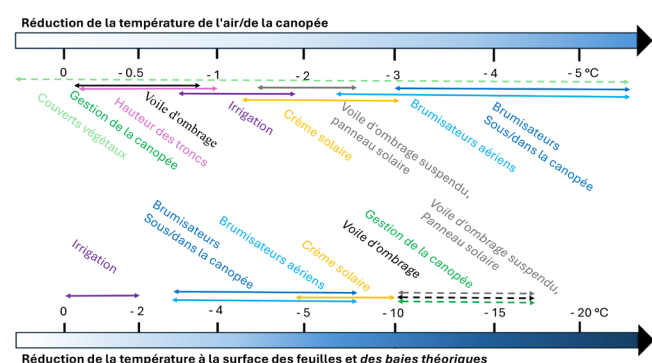


FIGURE 3. Réduction de la température de la canopée, des feuilles et des baies grâce à différentes stratégies d'atténuation dans les vignobles (lignes pleines : valeurs mesurées dans les articles référencés ; lignes pointillées : valeurs théoriques).

Les sources utilisées pour cette figure sont disponibles sur demande auprès des auteurs.

maximales atteintes, de la rapidité avec laquelle elles sont déployées et du stade phénologique.

Le conseil le plus courant consiste à irriguer avant et pendant une vague de chaleur afin d'humidifier autant que possible la zone racinaire, de réduire la température du sol et de maximiser le refroidissement par transpiration. Le moment de l'irrigation dépend du type de sol : les sols argileux peuvent être irrigués plusieurs jours avant une vague de chaleur, tandis que les sols plus sableux doivent être irrigués la veille ou la nuit précédente. Bien que cela ne permette qu'une réduction modeste de la température de l'air et des fruits, cette pratique vise à réduire le stress des vignes et à garantir la viabilité de la canopée. L'irrigation nocturne est plus efficace que l'irrigation diurne. Une utilisation plus efficace de l'eau consiste à avoir recours à des systèmes d'aspersion ou

brumisateurs aériens ou dans la canopée, ce qui réduit considérablement les déficits de pression de vapeur dans l'air et permet d'obtenir la plus grande réduction de la température de la canopée. Toutefois, toute stratégie utilisant de l'eau dépend de la disponibilité d'une quantité suffisante d'eau pour l'irrigation, de la mise en place d'infrastructures permettant d'acheminer l'eau à temps et du droit d'irriguer. Bien que courante en Australie et dans d'autres régions irriguées, la plupart des vignobles européens dépendent uniquement de la pluie pour l'irrigation et ne peuvent obtenir le droit d'irriguer que dans des circonstances exceptionnelles. Le paillage constitue une alternative adéquate pour réduire la température du sol, le réchauffement de la zone des grappes et de la canopée par réflexion, ainsi que l'évaporation de l'eau. La gestion de la canopée ou l'utilisation de voiles d'ombrage pour fournir de l'ombre et éviter un ensoleillement excessif sont d'excellents moyens d'obtenir une réduction de température pouvant atteindre environ 15 °C. Cependant, ces interventions sont plus faciles à mettre en œuvre lorsqu'elles sont intégrées dans la conception initiale de la parcelle plutôt que lorsqu'elles sont ajoutées a posteriori à des plantations existantes. Les crèmes solaires comme l'argile (par exemple, le kaolin) peuvent parfois réduire l'incidence des brûlures solaires, en particulier à l'approche des vendanges. Ces produits créant des films de particules peuvent être appliqués en cas de vague de chaleur pour protéger les canopées en réfléchissant la lumière du soleil et en réduisant le réchauffement par rayonnement. D'autres produits tels que la chaux, le talc et les antitranspirants sont en cours d'essai, avec des résultats variables en fonction de la couverture des feuilles et des raisins, de la formulation du produit, des propriétés d'adhérence, ainsi que du moment et de la fréquence d'application par rapport aux épisodes de chaleur.

Il est conseillé de combiner deux ou plusieurs stratégies et d'envisager des mesures complémentaires pendant les vendanges (récolte partielle des baies vertes, vendanges nocturnes, tri des baies pour éliminer celles qui sont abimées) et dans la cave (par exemple, ajout d'eau lorsque cela est autorisé, choix des levures et des techniques de vinification, désalcoolisation, etc.). Malheureusement, il existe peu de stratégies d'atténuation viables et efficaces à court terme. Si un vignoble est situé dans une région sujette aux vagues de chaleur, il est recommandé d'envisager des solutions plus permanentes, allant de la mise en place de structures d'ombrage à la réorganisation de l'orientation des rangs et à la remise en question des variétés plantées. Une meilleure compréhension de ces paramètres aidera les viticulteurs à choisir la méthode d'atténuation appropriée. ■

1 Gambetta, J. M., Holzapfel, B. P., Stoll, M., & Friedel, M. (2021a). Sunburn in grapes: A review. *Frontiers in Plant Science*, 11, 604691. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.604691>

2 Govot, J. C., Smith, J. P., Holzapfel, B. P., Walker, A. R., & Barril, C. (2019a). Grape berry flavonoids: A review of their biochemical responses to high and extreme high temperatures. *Journal of Experimental Botany*, 70(2), 397-423. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery392>

3 Gambetta, J. M., Romat, V., Schmidke, L. M., & Holzapfel, B. P. (2021b). Secondary metabolites coordinately protect grapes from excessive light and sunburn damage during development. *Biomolecules*, 12(1), 42. <https://doi.org/10.3390/biom12010042>

4 Govot, J., Smith, J., Holzapfel, B., & Barril, C. (2019b). Single and cumulative effects of whole-vine heat events on Shiraz berry composition. *Oeno One*, 53(2), 171-187. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.2.2392>

5 Govot, J. C., Smith, J. P., Holzapfel, B. P., Walker, A. R., & Barril, C. (2019c). Grape berry flavonoid responses to high bunch temperatures post véraison: Effect of intensity and duration of exposure. *Molecules*, 24(23), 4341. <https://doi.org/10.3390/molecules24234341>

6 Govot, J. C., Smith, J. P., Holzapfel, B. P., & Barril, C. (2019d). Impact of short temperature exposure of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz grapevine bunches on berry development, primary metabolism and tannin accumulation. *Environmental and Experimental Botany*, 168, 103866. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103866>

7 Muller, K., Keller, M., Stoll, M., Friedel, M. (2023). Wind speed, sun exposure and water status alter sunburn susceptibility of grape berries. *Frontiers in Plant Science*, 14, <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1145274>

8 Rogiers, S. Y., Greer, D. H., Liu, Y., Baby, T., & Xiao, Z. (2022). Impact of climate change on grape berry ripening: An assessment of adaptation strategies for the Australian vineyard. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1094633. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1094633>