

LA VIGNE ET L'EAU ÉLÉMENTS DE RÉFLEXION SUR LA PHYSIOLOGIE VIGNE-RAISIN FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



La réalisation de fosses pédologiques et de profils racinaires sont indispensables pour comprendre la structure et le fonctionnement des sols, l'implantation des racines et la physiologie de la vigne. Photo : Deloire A. & Mailliard B.

L'eau est une ressource indispensable à la production agricole. La viticulture ne fait pas exception. Dans le cadre de l'évolution du climat, la majorité des régions viticoles subissent des périodes de contraintes hydriques, voire de stress hydrique, associées à une augmentation globale des températures et à des stress thermiques. La distribution et l'intensité des pluies sont modifiées avec des orages plus fréquents en automne et une diminution de la pluviométrie sur le cycle cultural. Les plantes sont ainsi confrontées à une plus faible disponibilité en eau des sols dès la phase pré-débourrement alors que la demande climatique est supérieure. L'ensemble de ces évolutions climatiques (pluies x températures) a des effets négatifs sur

le fonctionnement de la vigne, la composition des baies et le profil aromatique des vins, conditionnant la pérennité des vignobles et leur rentabilité.

Au vu de l'importance de l'eau pour la culture de la vigne, il est intéressant de partager sous forme de « dot points », les conséquences possibles de l'augmentation du déficit hydrique et des vagues de chaleur sur la physiologie de la vigne et de ses fruits. Il faut bien sûr, dans le cadre d'une approche climatique intégrée, considérer l'eau en relation avec les autres facteurs climatiques : température, rayonnement, humidité de l'air et vent. Les relations vigne-eau seront principalement abordées dans cette synthèse.

A) PHYSIOLOGIE, DÉVELOPPEMENT ET BESOINS EN EAU DE LA VIGNE

- Les besoins en eau de la vigne pour son cycle de développement sont en moyenne de 450–550 mm ($1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3 = 1 \text{ litre par m}^2$) et ses besoins dépendent du rendement de la surface foliaire totale par cep. (Carbonneau *et al.*, 2020).
- Il faut entre 250–350 litres d'eau au vignoble, de débourrement à vendange, pour produire un litre de moût. Ces chiffres sont issus d'un calcul utilisant l'évapotranspiration de référence 'ETref' (données fournies par les stations météorologiques) en appliquant la formule permettant d'estimer la transpiration potentielle 'Tc' d'un vignoble $Tc = Kc \cdot ETref$ (Kc est le coefficient cultural qui tient compte de la hauteur du feuillage (H) et de la distance entre rangs (D): $Kc = 0,9 H/D$) (Carbonneau *et al.*, 2020; Pellegrino et Deloire, 2021; Williams et Ayars, 2005).
- 98 % des besoins en eau de la plante résultent de sa transpiration (figure 1).
- L'efficacité d'utilisation de l'eau foliaire (WUE: water use efficiency) correspond au ratio entre la quantité de carbone fixée et la quantité d'eau perdue par transpiration.
- Une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau résultant d'une activité photosynthétique supérieure et/ou d'une régulation stomatique plus efficace peut être considérée comme un trait d'adaptation à la sécheresse (Condon *et al.*, 2004).
- Les entre-cœurs (rameaux secondaires) sont plus sensibles à la contrainte hydrique que les rameaux primaires (Lebon *et al.*, 2006). Ces derniers sont responsables de l'épaisseur de la végétation.
- Les entre-cœurs et les feuilles dans la zone des grappes permettent de protéger les baies d'une surexposition au rayonnement et d'éviter des problèmes tels que l'échaudage (brûlure des baies) et de limiter les pertes en eau des baies par évaporation.

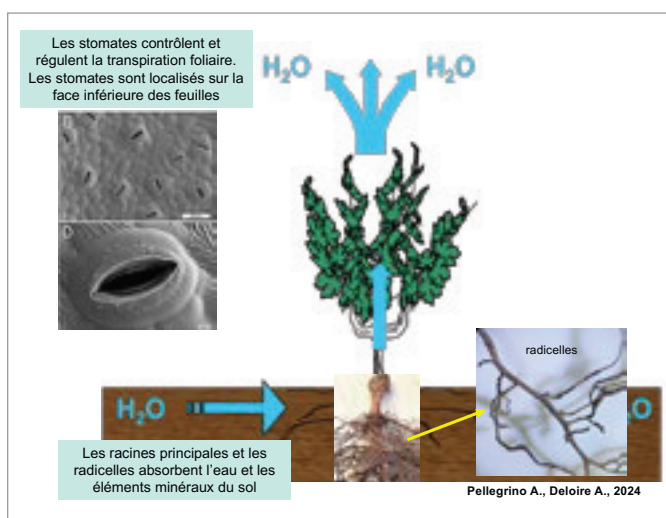


Fig. 1 : 98 % de l'eau absorbée par les racines est transpirée par les feuilles via les stomates (source de la photo sur les stomates de la vigne : Gambetta *et al.*, 2020).

- Les entre-cœurs peuvent être des relais utiles pour la photosynthèse en fin de cycle et contribuer à la restauration des réserves carbonées de la vigne pré et post vendange.
- L'économie en eau réalisée par les cépages ou les combinaisons cépage/porte-greffe ayant une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau (régulation de la transpiration par les stomates localisés sur la partie inférieure des feuilles) est un plus notable en terroir sec. Toutefois la régulation et l'adaptation de la vigne au cours d'un cycle de développement ou entre cycles, ne suffisent plus (dans certains terroirs: sol x climat), à assurer les rendements, la pérennité des vignobles et la qualité des vins lorsque les limites physiologiques de réponse de la vigne aux stress sont dépassées (Gambetta *et al.*, 2020; Levin *et al.*, 2020, Deloire et Pellegrino, 2021).

B) LE SOL ET LE SYSTÈME RACINAIRE DE LA VIGNE

- La réserve utile (RU), qui correspond au potentiel de disponibilité en eau du sol, dépend du type de sol (texture, structure, % de cailloux, matière organique) et de sa profondeur.
- L'évapotranspiration du sol va dépendre des conditions climatiques, du type de sol et des couverts végétaux qui sont implantés (sol nu versus sol enherbé). La part d'évapotranspiration du sol versus la part de transpiration dans la consommation de l'eau par hectare (en mm) sont difficiles à estimer. La transpiration d'un vignoble va dépendre de la surface foliaire totale par cep et par hectare en relation avec l'architecture de la végétation (système de conduite) et la densité de plantation (figure 2).
- Les couverts végétaux sont utiles pour éviter l'érosion, le ruissellement, augmenter la porosité des sols et favoriser la pénétration de l'eau de pluie. Ils doivent être gérés en fonction de la climatologie \times teneur en eau du sol \times densité de plantation car ces végétaux sont des concurrents potentiels pour l'eau et l'azote (Celette *et al.*, 2008).
- Le type de sol, sa composition, sa profondeur, son activité microbienne vont influencer la morphologie (racines pérennes et radicelles), l'implantation et le fonctionnement des racines de la vigne indépendamment du porte-greffe. (Smart *et al.*, 2006, van Zyl, 1988).
- Le choix du porte-greffe est crucial en terme d'adaptation d'un cépage à la contrainte hydrique (par exemple le 110 Richter) (Marguerit *et al.*, 2023).
- L'état hydrique de la vigne se mesure directement sur la plante (exemple des potentiels hydriques foliaires) et la gestion de la contrainte hydrique se fait en utilisant des valeurs seuils (Scholash et Rienth, 2019; Choné *et al.*, 2001).
- Le remplissage, au moins à hauteur de 50 % de la réserve utile du sol est importante pré-débourrement pour garantir l'homogénéité du débour-



Fig. 2: La densité de plantation va dépendre de l'architecture du système de conduite (petit ou grand système de conduite) qui est adapté aux conditions climatiques et aux objectifs de production (rendement et profils aromatiques des vins). Il faut distinguer les situations avec ou sans irrigation (source : Deloire et Pellegrino, 2021). La question posée est celle des rendements et de la rentabilité des exploitations viticoles. Dans le cadre de l'équation suivante-petits systèmes de conduite de type Gobelet x faible surface foliaire et donc rendement par cep et faible densité de plantation-la question est : quel est le point de rupture économique, faible rendement par cep, en terme d'hectolitres/hectares ?

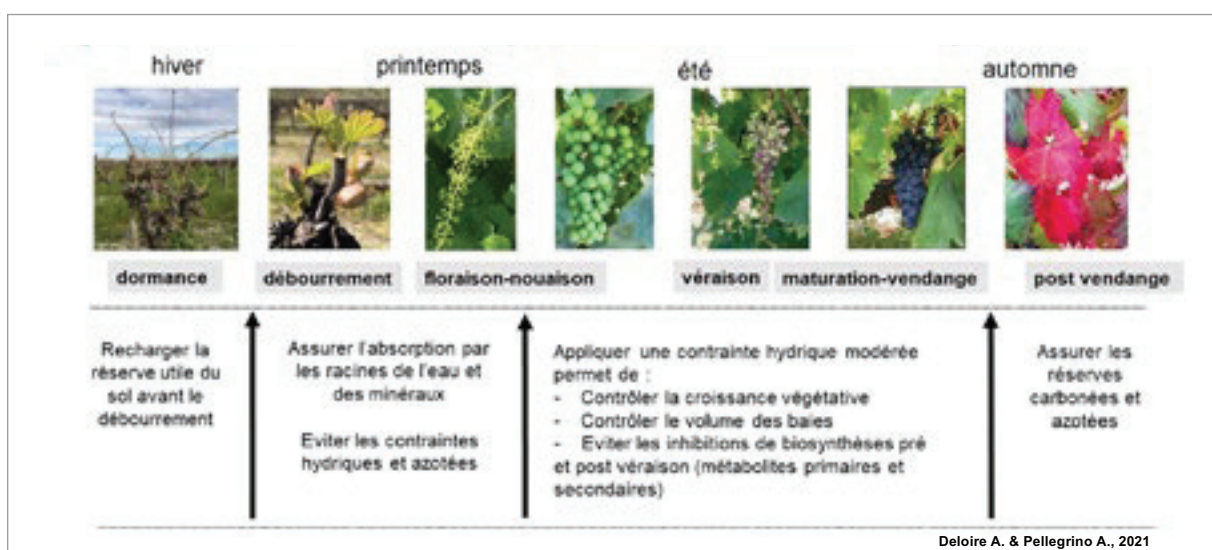


Fig. 3: Les besoins en eau de la vigne se gèrent tout au long du cycle de développement, depuis le débournement jusqu'après la vendange (source : Deloire et Pellegrino, 2021).

- rement des bourgeons latents et assurer les rendements potentiels fixés à la taille.
- La teneur en eau du sol est un facteur important à considérer tout au long du cycle de développement de la vigne, y compris post vendange pour retarder la senescence des feuilles et maintenir leur l'activité photosynthétique afin de favoriser le remplissage de la réserve carbonée des sarments, du bois et des racines, remplissage qui commence souvent pré vendange (figure 3) (Rossouw *et al.*, 2017; Pellegrino *et al.*, 2004).
- L'état hydrique du sol et le type de racine vont conditionner l'adsorption de l'eau, de l'azote et des éléments minéraux par les racines.
- Les racelles, qui se développent annuellement sont le système racinaire le plus performant pour assurer l'alimentation hydrique et minérale de la vigne. Des études complémentaires sont nécessaires pour l'amélioration variétale des porte-greffes du genre *Vitis* sp. et de la qualité de leur racines (diamètre, développement/architecture et fonctionnement du système racinaire; Blois *et al.*, 2023).
- Les microbiotes (par exemple les mycorhizes) vivant dans les vignobles influent sur la santé des vignes, leur adaptation aux environnements changeants, et déterminent la qualité biologique des sols, ce qui peut avoir une incidence sur la

qualité du vin. Cependant, leur abondance et leurs interactions peuvent être influencées par la gestion du vignoble (Torres *et al.*, 2021).

C) CONSÉQUENCES POTENTIELLES DE LA SÉCHERESSE (FORTE CONTRAINTE HYDRIQUE : MOINS DE PLUIE ET PLUS D'ÉVAPOTRANSPIRATION) ET DE L'ÉLEVATION DES TEMPÉRATURES (VAGUES DE CHALEUR : NOMBRE DE JOURS AVEC DES TEMPÉRATURES $\geq 35^{\circ}\text{C}$)

1 Croissance végétative et composantes du rendement

- Réduction de la croissance végétative et donc de la surface foliaire totale et exposée (expression végétative), ce qui implique une réduction des rendements par cep pour respecter le rapport surface foliaire exposée / rendement (équilibre de SFE / P entre 0,8 et 1,2) (figure 4) (Van Leeuwen C. & Seguin G. 1994).
- Réduction de la vigueur de la vigne (diamètre poids des bois de taille = réduction de l'activité du cambium au cours de la croissance des rameaux primaires).
- Perte de fertilité des bourgeons latents (problème de différenciation des primordia d'inflorescences mis en place dans les bourgeons latents durant leur formation en année N) (figure 4) (Guilpart *et al.*, 2014).

- Hétérogénéité du débourrement et de développement des rameaux primaires issus des bourgeons latents.
- Problème de développement des inflorescences et des fleurs en année N+1 (dont les primordia ont été formés dans les bourgeons latents l'année N) pouvant conduire à des défauts de fécondation (coulure et millerandage).
- Réduction du volume potentiel des baies (dès le stade de croissance herbacée du fruit et post véraison-maturation) (la véraison se définit par le début du ramollissement du fruit) (Ojeda *et al.*, 2001).
- Risque accru de back-flow d'eau du fruit vers les feuilles accentuant le flétrissement des baies (bien que ce concept soit discutable au plan physiologique) surtout post véraison et post plateau du chargement en sucres des baies (le flétrissement est généralement irréversible post plateau du chargement en sucres et en fin de maturation)
- Risque de carences minérales et azotées.
- Risque de surexpression de certaines maladies de la vigne dont les viroses (Copp et Levin, 2021).

2 Composition des baies et qualité des vins

- Perturbation du chargement en sucres et en eau des baies (Wang *et al.*, 2003; McCarthy et Coombe, 1999; Deloire 2011) conduisant à une augmentation de la concentration en sucres et donc à une augmentation de l'alcool des vins (figure 5).

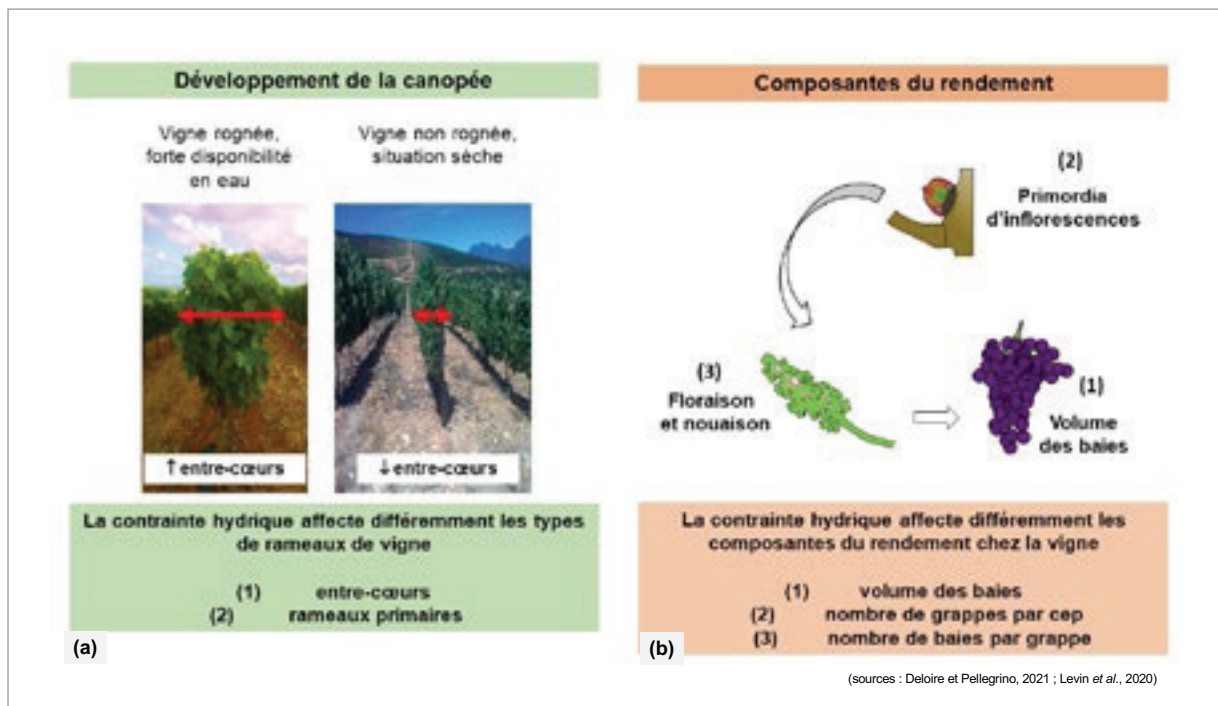


Fig. 4 : (a) L'architecture de la vigne est affectée par la contrainte hydrique et azotée : ceux sont les entre-cœurs (rameaux secondaires) qui sont la variable d'ajustement de l'état hydrique de la vigne. (b) Les composantes du rendement sont affectées différemment en fonction des niveaux de contraintes hydrique du végétal, avec dans l'ordre : 1) le volume des baies ; 2) la différenciation des primordia d'inflorescence dans les bourgeons en formation ; 3) la floraison / fécondation et la nouaison (source : Deloire et Pellegrino, 2021 ; Levin *et al.*, 2020).

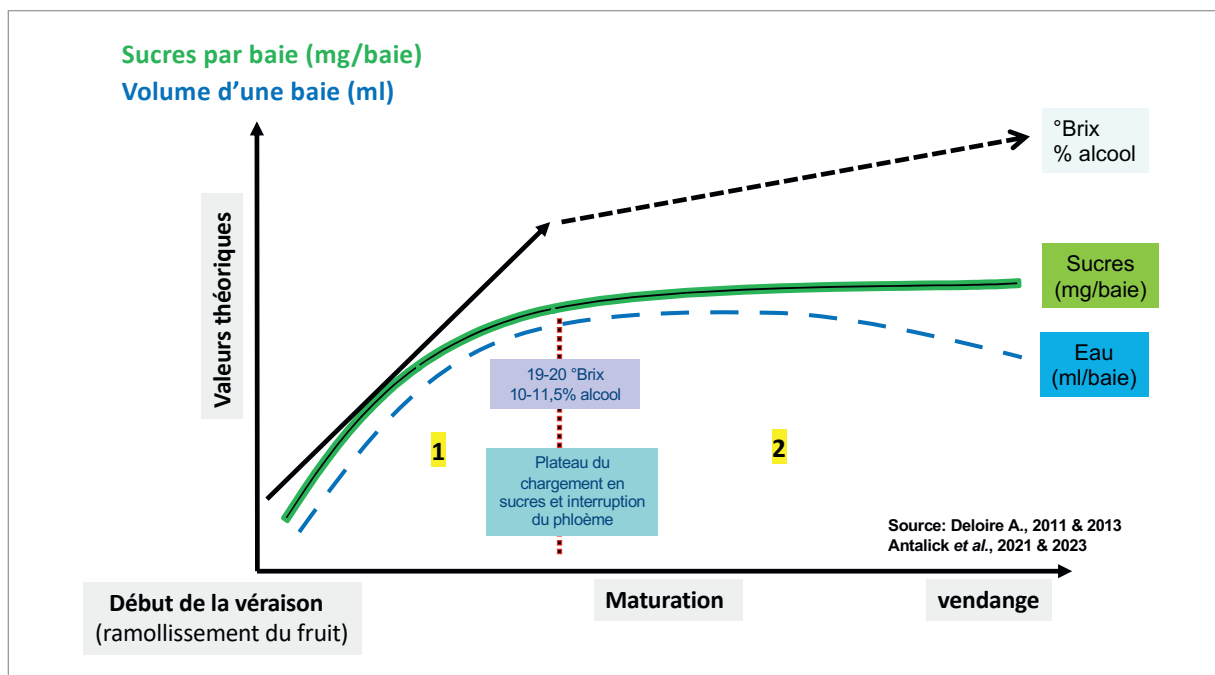


Fig. 5: Evolution théorique par baie de l'eau et des sucres du début de la véraison à la vendange. La représentation des données par baie permet de comprendre que la maturation est divisée en deux phases: avant et après le plateau du chargement en sucres. L'interruption du phloème au plateau du chargement en sucres résulte en une perte en eau du fruit par évaporation qui explique l'augmentation du degré alcoolique à partir de 10 % en alcool, valeur à partir de laquelle le plateau du chargement en sucres est atteint (Shahood et al., 2020; Antalick et al., 2023).

- Perturbation de la dynamique de maturation des baies via la modification du profil de chargement en sucres (mg/baie), la maturation du raisin se divisant en deux sous étapes: pré et post plateau du chargement en sucres (Antalick et al., 2021).
 - Risque élevé de flétrissement des baies. Au-delà de 20 % de baies flétries, le profil aromatique des vins est modifié (Šuklje K., et al., 2016; Deloire et al., 2021).
 - Niveau de stress hydrique inhibant la biosynthèse des métabolites primaires (acides organiques...) et secondaires [phénols (tannins, anthocyanes, flavonols...); précurseurs d'arômes...] pré et post véraison, donc perte d'acidité et d'arômes et modification de la structure en bouche des vins de vignes sous stress hydrique
 - Augmentation du pH des vins par concentration du potassium et dégradation de l'acide malique
 - Hétérogénéité de la croissance des baies (Ojeda et al., 2001) accrue qui peut affecter le profil aromatique des vins.
 - Avancement de la date de vendange qui est dû principalement à la concentration en sucres des baies et non systématiquement à une augmentation de la teneur en sucres par baie. Cela pose la question de la pertinence du choix des dates de vendange basé uniquement ou principalement sur la concentration en sucres (°Brix) et sur l'acidité de titration (maturité technologique), ce qui ne renseigne directement pas sur la maturité phénologique et aromatique (Antalick et al., 2023).
- 3 Les solutions possibles: la boîte à outils**
- Apport et augmentation de la matière organique dans les sols; Régénération de la biomasse et de l'activité microbienne des sols.
 - Utilisation de mycorhizes.
 - Adapter le travail du sol et implémentation de couverts végétaux.
 - Permaculture: Plantation de vignes en «key-lines design» et installation de noues (Malard et Deloire, 2023 a,b).
 - Choix de porte-greffes tolérants à la sécheresse.
 - Choix de cépages adaptés aux contraintes hydriques et aux températures élevées (attention: il n'existe pas de cépages résistants aux stress hydriques et thermiques). Donc à ce titre et même avec la combinaison cépage / porte-greffe 'idéale', si les limites du fonctionnement physiologique vigne-raisin ont été atteintes, voire dépassées dans certains terroirs (sol × climat), la seule solution sera l'irrigation d'appoint.
 - Réduction de la densité de plantation et donc de la surface foliaire transpirante par hectare, ce qui nécessite un ajustement des rendements.
 - Réduction de la surface foliaire par vigne (et donc par hectare): il faudra alors ajuster les rendements en conséquence (rapport SFE / P) et tenir compte du besoin de feuilles actives et produisant des sucres (photosynthèse) pour le remplissage des réserves carbonées (racines, tronc, cordon, sarments). Il faut noter que la contrainte hydrique entraîne systématiquement une baisse des rendements potentiels décidés à la taille.

- Planter un matériel végétal de qualité (greffé-soudé-raciné).
- Assurer une taille non mutilante des ceps dans le respect des flux de sève.
- Choix de petits systèmes de conduite (type Gobelet, Palmette...). Attention, le Gobelet n'est pas un système de conduite résistant à la sécheresse mais adapté aux terroirs secs et généralement non irrigués (Deloire *et al.*, 2022). Dans tous les cas, en cas de contrainte hydrique forte la vigne régule d'elle-même sa croissance végétative et les rendements associés.
- Irrigation d'appoint et raisonnée de la vigne : suivant les situations, 50 à 100 mm d'eau par hectare sont suffisants (sur le cycle de la vigne) pour éviter un blocage physiologique de la vigne et du raisin, assurer la pérennité des vignobles et un rendement minimal.
- Ombrage des vignes (ombrières de type filet, panneaux solaires...) qui permet de limiter l'interception du rayonnement et donc de réduire la transpiration des ceps, donc la consommation en eau d'un vignoble et le flétrissement (perte en eau donc en rendement) des baies.
- Ombrage ou brumisation de la zone des grappes pour augmenter le VPD (hygrométrie de l'air) et réduire le rayonnement direct.

Lorsque que l'on raisonne l'état hydrique de la vigne, il convient de considérer les points suivants dans le raisonnement de l'impact de l'état hydrique de la vigne sur son fonctionnement (développement de l'appareil végétatif; mise en place des composantes du rendement; développement et composition du fruit; catégories (rouge, rosé, blanc, mousseux....) et profils aromatiques des vins à produire):

- La période de survenue de la contrainte hydrique versus les stades phénologiques (cf figure 3).
- L'intensité de la contrainte hydrique (contrainte modérée, contrainte forte versus stress hydrique).
- La durée de la contrainte hydrique.
- L'interaction état hydrique de la vigne et autres facteurs du climat (températures et vagues de chaleur, rayonnement, hygrométrie de l'air, vent).

Dans le contexte du changement et de la variabilité climatique entre années, il est recommandé d'avoir une approche intégrée de la gestion d'un vignoble pour garantir la santé des sols et des vignes, la pérennité des vignobles et la rentabilité des exploitations viticoles (figure 6).

EN CONCLUSION

Il convient d'éviter les contraintes hydriques fortes (stress hydrique) sur vigne de pré-débourrement à post vendange et notamment pour la production de vins rouges fruités (fruits frais), de vins blancs et rosés, de mousseux et de brandy (type cognac).



Fig. 6 : Il convient de privilégier les approches intégrées sol-plante-demande climatique.

Bibliographie

- Antalick G., Šuklje K., Blackman J.W., Schmidtke L.M. Deloire A., 2023. Modulation des profils sensoriels des vins rouges : meilleure compréhension grâce aux profils de chargement en sucre des baies de raisin, IVES Technical Reviews, <https://ives-technicalreviews.eu/article/view/7797>.
- Antalick G., Šuklje K., Blackman J.W., Schmidtke L.M. Deloire A., 2021. Performing sequential harvests based on berry sugar accumulation (mg/berry) to obtain specific wine sensory profiles, *OENO One* 2021, 2, 131–146.
- Blois L., de Miguel M., Bert P.F., Ollat N., Rubio B., Voss Fels K.P., Schmid J., Marguerit E., 2023. Dissecting the genetic architecture of root related traits in a grafted wild *Vitis berlandieri* population for grapevine rootstock breeding, *Theoretical and Applied Genetics*, 136:223, <https://doi.org/10.1007/s00122-023-04472-1>.
- Carbonneau A., Torregrosa L., Deloire A., Pellegrino A., Pantin F., Romieu C., Ojeda H., Jaillard B., Métya A., Abbal P., (2020). *Traité de la Vigne, Physiologie-Terroir-Culture*, Dunod Editeur, Paris, France, ISBN 978-2-10-079857-5, 689 p.
- Celette F., Gaudin R., Gary C., 2008. Spacial and temporal changes to the water regime of a mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping, *European Journal of Agronomy*, 29, 153–162.
- Choné X., van Leeuwen C., Dubourdieu D. & Gaudillère J.P. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany*, 87 (4), 477–483.
- Condon, A. G., Richards, R. A., Rebetzke, G. J., Farquhar, G. D. 2004. Breeding for high water-use efficiency, *Journal of Experimental Botany*, Volume 55, Issue 407, November 2004, Pages 2447–2460, <https://doi.org/10.1093/jxb/erh277>.
- Copp C.R., Levin A.D., 2021. Irrigation Improves Vine Physiology and Fruit Composition 3 in Grapevine Red Blotch Virus-Infected *Vitis vinifera* L. *American Journal of Enology and Viticulture (AJEV)*. doi: 10.5344/ajev.2021.21007.
- Deloire A., Rogiers S., Baeza Trujillo P., 2022. What could be the architectural forms of future vines adapted to climate change: a new challenge! Let's discuss the Gobelet (Bush Vine), IVES Technical Reviews, <https://ives-technicalreviews.eu/article/view/5384>.
- Deloire A., Rogiers S., Šuklje K., Antalick G., Zeyu X., Pellegrino A., 2021. Grapevine berry shrivelling, water loss and cell death: an increasing challenge for growers in the context of climate change, IVES Technical Reviews, <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2021.4615>.
- Deloire et Pellegrino, 2021. Rappels sur la vigne et le déficit hydrique. Quels leviers au vignoble à courts et moyens termes? IVES Technical Reviews, <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2021.4842>.
- Deloire A., 2011. The concept of berry sugar loading, *Wine-land Magazine*, January 2011.
- Gambetta G.A., Herrera J.C., Dayer S., Feng Q., Hochberg U. and Castellarin S.D., 2020. The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance, *Journal of Experimental Botany*, Vol. 71, No. 16 pp. 4658–4676, doi:10.1093/jxb/eraa245.
- Guilpart, N., A. Métya, and Gary C., (2014). Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *European Journal of Agronomy*, 2014. 54: p. 9–20.
- Levin A.D., Deloire A., Gambetta G.A., (2020). Does water deficit negatively impact wine grape yield over the long term? IVES, <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2019.4029>.
- Lebon E., Pellegrino A., Louarn G., and Lecoer J., 2006. Branch development controls leaf area dynamics in grapevine (*Vitis vinifera*) growing in drying soil. *Annals of Botany*, 98, 175–185.
- Malard A. et Deloire A., 2023a. Les keylines : une étape fondamentale pour établir une parcelle de vigne en permaculture (1^{ère} partie), *Vignes et Vergers*, N°8, Aout 2023.
- Malard A. et Deloire A., 2023b. Les noues associées au design en keylines, une étape importante pour établir une parcelle de vigne en permaculture (2^{ème} partie), *Vignes et Vergers*, N°9, Septembre 2023.
- Marguerit E., Blois L., Goutouly J.P., Lafargue M., Lagalle L., Morel M., Tandonnet J.P., Ollat N., 2023. What's new with rootstocks? IVES Technical Reviews, <https://ives-technicalreviews.eu/article/view/7494>.
- Mccarthy M.G. And Coombe B.G., 1999. Is weight loss in ripening grape berries cv. Shiraz caused by impeded phloem transport? *Australian Journal of Grape and Wine Research* 5, 17–21, 1999.
- Ojeda, H., A. Deloire, and Carbonneau A., (2001). Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis*, 2001. 40(3): p. 141–145.
- Pellegrino A. et Deloire A., 2021. Calcul des besoins en eau d'un vignoble à partir de l'évapotranspiration de référence et raisonnement associé, *Revue des Œnologues*, N°181.
- Pellegrino, A., Lebon, E., Voltz, M., Wery, J., 2004. Relationships between plant and soil water status in vine (*Vitis vinifera* L.). *Plant Soil* 266, 129–142.
- Rossouw G., Smith J.P., Barril C., Deloire A., Holzapfel H.P., 2017. Carbohydrate distribution during berry ripening of potted grapevines: impact of water availability and leaf-to-fruit ratio, *Scientia Horticulturae*, 216, 215–225.
- Scholasch T. Rienth M., 2019. Review of water deficit mediated changes in vine and berry physiology; Consequences for the optimization of irrigation strategies, IVES Technical Reviews, DOI: 10.20870/oeno-one.2019.53.3.2329.
- Shahood, R., Torregrosa, L., Savoi, S., Romieu, C., (2020). First quantitative assessment of growth, sugar accumulation and malate breakdown in a single ripening berry, *OENO One*, 4, 1077–1092. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.4.3787>.
- Smart D.R., Schwass E., Lakso A., Morano L., 2006. Grapevine Rooting Patterns: A comprehensive Analysis and a Review, *Am. J. Enol. Vitic.* 57: 1.
- Šuklje K., Zhang X., Antalick G., Clark A.C., Deloire A., and Schmidtke L.M., (2016). Berry Shriveling Significantly Alters Shiraz (*Vitis vinifera* L.) Grape and Wine Chemical Composition, *J. Agric. Food Chem.*, 64, 870–880, DOI: 10.1021/acs.jafc.5b05158.
- Torres N., Yu R., and Kurtural S.K., 2021. Inoculation with Mycorrhizal Fungi and Irrigation Management Shape the Bacterial and Fungal Communities and Networks in Vineyard Soils, *Microorganisms*, 9, <https://doi.org/10.3390/microorganisms9061273>.
- van Zyl, J.L. (1988) Response of grapevine roots to soil water regimes and irrigation systems. In: *The grapevine root and its environment*. Ed. J.L. van Zyl (Department of Agriculture and Water Supply: Pretoria, South Africa) pp. 30–43.
- Van Leeuwen C. & Seguin G. 1994. Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* variété Cabernet franc, Saint-Emilion, 1990). *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 28, (2), 81–110.
- Wang Z., Deloire A., Carbonneau A., Federspiel B., Lopez F., 2003. Study of Sugar Phloem Unloading in Ripening Grape Berry under Water Stress conditions. *J. Int. Sci. Vigne vin*, 37, 4, 213–222.