

PASCAL MARTY, CONSULTANT EN VITICULTURE, **ANTOINE LESPÈS**, DOMAINE LAFAGE
ANNE PELLEGRINO, UMR LEPSE-ETAP (INRAE), UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER,
 INSTITUT AGRO MONTPELLIER
ALAIN DELOIRE, UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER, INSTITUT AGRO MONTPELLIER
 (RETRAITÉ; CONSULTANT EN VITICULTURE)



L'IRRIGATION DE LA VIGNE : UNE NÉCESSITÉ DANS CERTAINS TERROIRS



Domaine expérimental du domaine Lafage, Roussillon, France. La réalisation de fosses pédologiques et de profils racinaires est indispensable pour l'analyse des essais sur les amendements organiques « biochar + compost » (à gauche) ou sur l'irrigation de conservation (à droite). Photos: Deloire A. & Marty P.

L'eau est une ressource indispensable à la production agricole. La viticulture et l'arboriculture ne font pas exception. Dans le cadre de l'évolution du climat, la majorité des régions agricoles 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 cultures pérennes sont ainsi confrontées à une plus faible disponibilité en eau dans les sols dès le début de leur croissance au printemps et tout au long de leur cycle de développement jusqu'à la récolte, alors que la demande climatique est supérieure. Cela affecte à la fois la pérennité des cultures de plantes ligneuses, la rentabilité des exploitations et la qualité des produits.

Dans cet article sur l'irrigation, nous prenons comme exemple la vigne (figure 1) pour partager certaines informations sur la gestion d'une irrigation de précision. Une méthodologie développée dans les Pyrénées-Orientales, une région du sud-ouest de la France où les conditions devenues semi-arides depuis plus de deux ans impactent sévèrement l'arboriculture et la viticulture, est présentée.

RAPPELONS TOUT D'ABORD LES 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 mm = 10 m³ par ha = 1 litre par m²) (Carbonneau *et al.*, 2020)
- Il faut entre 250–350 litres d'eau au vignoble, du débourrement aux vendanges, pour produire un litre de moût (Deloire et Pellegrino, 2021 ; Williams et Ayars, 2005).
- 98 % des besoins en eau de la plante résultent de sa transpiration.



Fig. 1 : L'irrigation de conservation permet d'assurer un développement de la vigne et du raisin satisfaisant quand les conditions climatiques deviennent extrêmes et maintenir la pérennité du vignoble (Grenache noir ; photos: Marty P.).

Il existe de nombreuses méthodes pour mesurer la teneur en eau des sols, l'état hydrique d'une plante et la demande climatique (figure 2).

Cet article de synthèse vise à déterminer quelles variables liées au sol-climat doivent être prises en compte pour planifier une irrigation de conservation dans un climat semi-aride, garantissant la régularité des rendements chez la vigne (au moins 35 hectolitres / hectare) et un profil aromatique du vin acceptable répondant à la demande du marché. Bien que la qualité du vin ne soit pas abordée dans

cette publication, elle a également été étudiée en utilisant le principe de la récolte séquentielle, tel que défini par Antalick *et al.* (2021).

PRÉSENTATION D'UNE ÉTUDE DE DEUX ANS (2022–2023) SUR L'IRRIGATION DE LA VIGNE EN ZONE CLIMATIQUE SEMI-ARIDE

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet de recherche sur de nouveaux modèles agroécologiques dans les régions viticoles de la zone méditerranéenne, créé et financé par le Domaine Lafage, Roussillon, France. Afin de répondre à la pression croissante sur les ressources en eau et d'améliorer les relations hydriques dans le continuum-sol-plante-atmosphère (SPAC en anglais), ce projet a étudié différentes stratégies agronomiques innovantes, alternatives ou complémentaires à l'irrigation minimale; densité de plantation, choix de nouveau matériel végétal (cépages et porte-greffes), amendements du sol à base de matière organique et biochar, pratiques culturales permettant d'ajuster le rapport fruit: feuilles notamment, pour n'en citer que quelques-unes. Le groupe opérationnel de ce projet est composé de l'équipe R&D du Domaine Lafage, de l'Institut Agro Montpellier et de la Chambre d'Agriculture des Pyrénées-Orientales.

L'étude, dont les résultats sont présentés dans cet article, a été conduite sur une parcelle en production de Grenache N. (*Vitis vinifera* L.), greffé sur 110R, située dans l'appellation d'origine protégée des Côtes du Roussillon Villages. Ce site se trouve entre les régions viticoles emblématiques de Rivesaltes, Maury et Tautavel, dans le sud de la France,

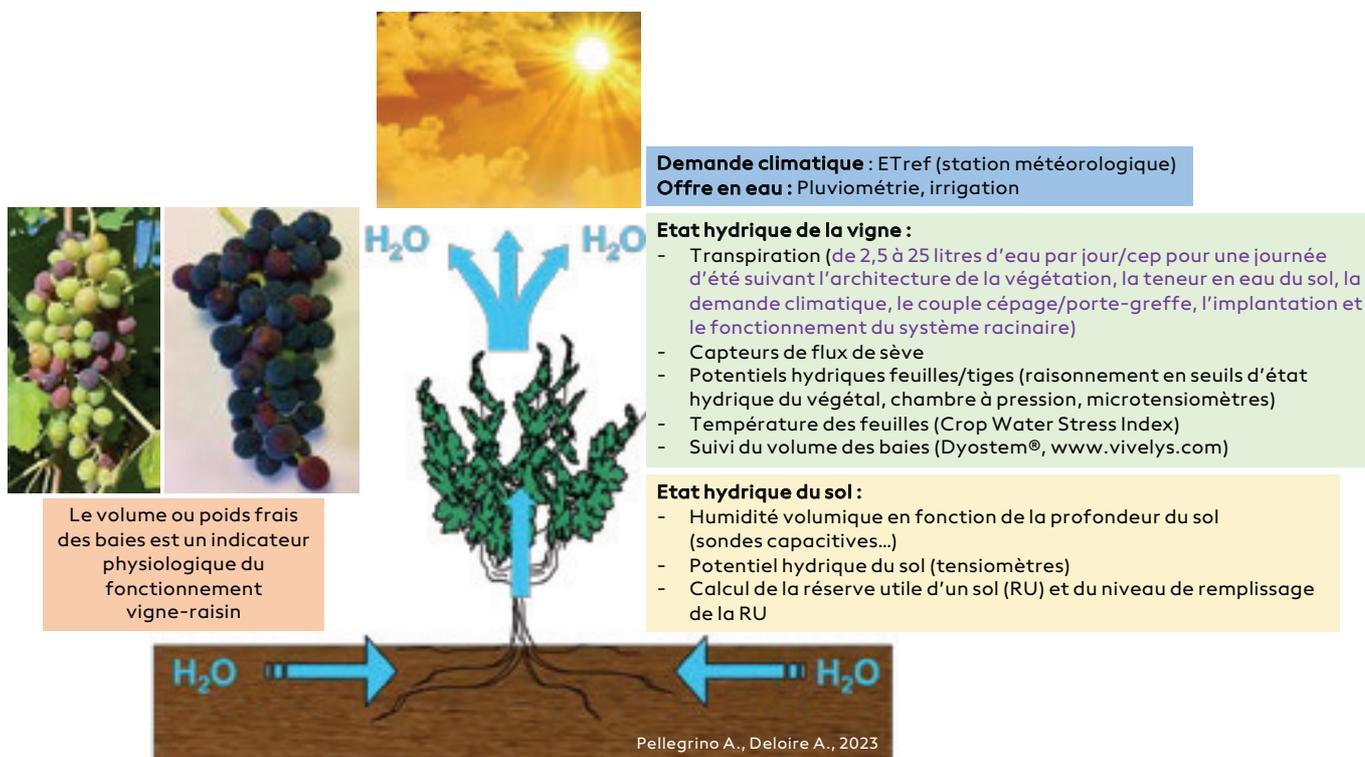


Fig. 2 : Exemples de méthodes pour mesurer l'état hydrique des sols et de la vigne en fonction de la demande climatique et de l'offre en eau dans le continuum sol-plante-atmosphère.

près de la frontière espagnole. Une modalité irriguée (IRR) et une modalité en pluvial (TEM) ont été comparées. Comme la disponibilité locale en eau est limitée, une stratégie au-delà de ce que l'on appelle «l'irrigation de précision» a été développée, que nous avons nommée «irrigation de conservation» (application par irrigation d'un maximum de 500 m³ d'eau par hectare de vignoble et par an).

DE L'IRRIGATION DE PRÉCISION À L'IRRIGATION DE CONSERVATION

L'irrigation de précision utilisant le goutte-à-goutte, qui consiste à ajouter de l'eau par cep de vigne et à cibler la zone racinaire, permet d'optimiser l'efficacité de l'eau d'irrigation en réduisant les pertes d'eau par évaporation et/ou ruissellement et en évitant d'arroser des zones du sol mal explorées par le système racinaire. Le taux et la durée d'irrigation doivent donc être soigneusement raisonnés pour optimiser la forme et la taille du bulbe humecté, en fonction du type de sol et de l'architecture racinaire (Cook *et al.*, 2003; Pisciotta *et al.*, 2018).

Ce que nous entendons par «irrigation de conservation» c'est tout simplement une irrigation de précision qui permette avec le minimum d'eau possible d'éviter les blocages physiologiques et les blocages de maturation chez la vigne, bien sûr dans le cadre d'une gestion adaptée de la surface foliaire transpirante et des rendements associés. L'irrigation de conservation implique une gestion spatiale et temporelle précise et rigoureuse de l'irrigation. Les décisions permettant de mettre en place une irrigation de conservation se fondent sur la caractérisation du réservoir hydrique du sol, l'observation du système racinaire et des mesures de l'état hydrique du sol et de la vigne effectuées à des stades clés du développement de la vigne et des fruits. Ces mesures peuvent aider à éviter des niveaux de stress hydriques induisant des dysfonctionnements hydrauliques (cavitation, embolie des vaisseaux de xylème), une senescence des feuilles accélérée, le flétrissement des baies et l'inhibition potentielle du développement et de la maturation du raisin.

Le flux d'eau dans le continuum sol-plante-atmosphère (SPAC) est régi par le gradient de potentiels hydriques et par les régulations internes de la vigne conditionnant l'absorption d'eau par les racines et la perte d'eau par les organes aériens (Rogiers *et al.*, 2009). La profondeur et la densité des racines sont cruciales pour l'adsorption de l'eau et doivent être prises en compte lors de la détermination de la disponibilité potentielle en eau du sol (Pellegrino *et al.*, 2004). L'absorption d'eau par les racines repose sur la pression osmotique transversale au sein des cellules du système racinaire et sur l'activité des protéines aquaporines impliquant le transport symplastique de l'eau (Gambetta *et al.*, 2013).

La perte d'eau, via la transpiration des feuilles, dépend de l'interception de la lumière et du contrôle stomatique. La transpiration est un processus essentiel pour réguler la température du couvert végétal et permettre le flux de masse des nutriments minéraux. Les échanges gazeux (H₂O, CO₂ et O₂) ont lieu au niveau des stomates, situés sous les feuilles de la vigne. La régulation stomatique de la vigne n'est pas encore entièrement connue et dépend des interactions entre les génotypes et l'environnement (microclimat).

CARACTÉRISTIQUES MÉTÉOROLOGIQUES

La zone d'étude est sous un climat méditerranéen, mais a atteint des conditions semi-arides en 2022 et 2023, avec des précipitations annuelles respectivement de 305 mm et 245 mm. Les données météorologiques historiques collectées par Météo France montrent une évolution rapide du climat de la région ces dernières années. Par exemple, la température moyenne au cours de la saison de croissance végétative (d'avril à septembre) à Perpignan était de 20,5°C sur la période 1991-2020 (moyenne sur 30 ans), mais de 20,8°C sur la période 2001-2020, 21,0°C sur la période 2011-2020 et 21,2°C sur la période 2016-2020. Ainsi, il nous a semblé pertinent d'utiliser les cinq années précédant l'étude (2017-2021) comme période de référence. En procédant ainsi, au cours de la période d'octobre à mars (c'est-à-dire de la chute des feuilles au débourrement), les

GDD _{0°C,t1}	[1; 800]]800; 1,800]]1,800; 2,800]]2,800; 3,800]		
	MOY5	2022	2023	MOY5	2022	2023	MOY5	2022	2023	MOY5	2022	2023
Date	20/03	=	+3	25/05	-3	-1	07/07	-5	-3	16/08	-8	-3
T _{moy} (°C)	10.2	=	-0.4	15.2	+0.7	+1.1	23	+0.7	+0.8	25.5	+2.6	+0.1
ETref (mm)	196	-2	+26	278	-6	+50	283	+7	=	278	+12	+20
P (mm)	114	+19	-36	146	-88	-119	35	-21	-9	24	-20	+8
P - ETref	-82	-61	-144	-132	-214	-301	-248	-276	-257	-254	-286	-265

Tabl. 1: Résumé des indicateurs météorologiques pour 2022 et 2023 par sous-période, comparés à la moyenne sur la période 2017-2021 (« MOY5 »). Les valeurs en italique représentent les différences par rapport à la moyenne ; les valeurs en gras représentent les informations particulièrement pertinentes pour l'étude. Abréviations : T_{moy}, température moyenne ; ETref et P, évapotranspiration de référence et précipitations cumulées

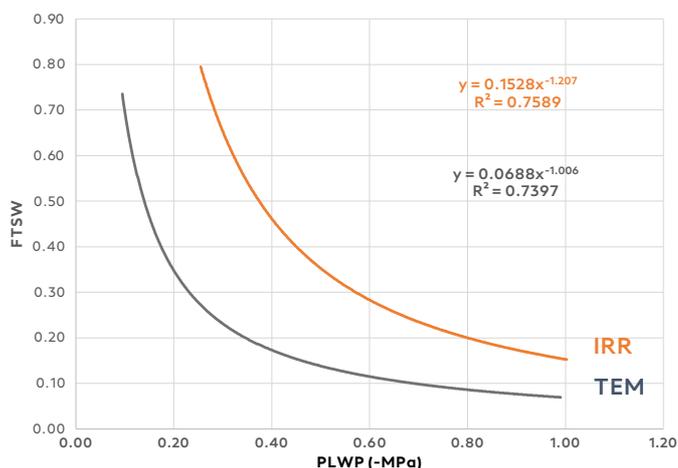


Fig. 3 : Evolution de la fraction d'eau dans le sol disponible pour la plante (FTSW) en fonction du potentiel hydrique foliaire de base (PLWP) pour les modalités TEM et IRR du 1^{er} mai au 15 septembre, en 2022 et 2023.

précipitations totales ont été proches de la période de référence en 2022 (355 mm, +28 mm) mais réduites à 127 mm (-200 mm) en 2023. D'avril à septembre (c'est-à-dire pendant la saison de croissance), les précipitations totales ont diminué de 128 mm et 102 mm par rapport à la moyenne de référence (égale à 240 mm), et la température moyenne a augmenté de 1,4 °C et 0,8 °C, respectivement en 2022 et 2023.

Afin de mieux comprendre le déroulement de chaque millésime, quatre sous-périodes ont été définies en fonction de la somme des degrés-jours de croissance (GDD, base 0 °C), comptabilisée à partir du 1^{er} janvier. Les quatre valeurs limites retenues étaient GDD_{0°C,tl} égales à 800, 1800, 2800 et 3800 correspondant approximativement pour cette zone au débournement, à la floraison, à la véraison et à la récolte au stade « fruits frais ». Le tableau 1 présente pour les quatre sous-périodes, en 2022 et 2023, un résumé des variations de 4 indicateurs météorologiques par rapport à la moyenne des 5 années qui ont précédé l'étude. Parmi les différents indicateurs sélectionnés, la principale préoccupation climatique est la diminution des précipitations en hiver et au printemps (jusqu'à la floraison), qui a été particulièrement drastique en 2023.

ETAT HYDRIQUE DU SOL ET DE LA VIGNE

La figure 3 montre l'état hydrique du sol représenté par la fraction d'eau disponible pour la plante (FTSW en anglais) en fonction du potentiel hydrique foliaire de base (PLWP en anglais) pour les deux modalités (IRR, TEM). La FTSW présente la particularité par rapport au niveau de remplissage de la RU d'intégrer la densité racinaire. Le PLWP est bien corrélé à la FTSW comme rapporté dans la lit-

térature (Lebon *et al.*, 2003; Pellegrino *et al.*, 2004). Cependant, la relation diffère entre les deux modalités IRR et TEM. Pour une FTSW donnée, le PLWP est plus faible pour les plantes irriguées que pour celles en pluvial.

Ce qu'il est important de retenir ici, c'est qu'un étalonnage entre FTSW et PLWP doit être effectué pour chaque situation considérée. Ainsi l'utilisation d'un appareil mesurant de façon fiable l'état hydrique du sol permettrait un pilotage optimisé de l'irrigation en utilisant un système automatique d'aide à la décision. En outre, la mise en route de l'irrigation peut être grandement simplifiée à l'aide de programmeurs connectés par exemple.

La variabilité des niveaux d'humidité du sol dans une parcelle irriguée est particulièrement importante, a fortiori avec l'irrigation goutte-à-goutte. A des fins pratique et méthodique, nous proposons de positionner la sonde capacitive dans le rang de vigne, entre deux goutteurs. **Il est ensuite nécessaire d'étalonner la sonde « sol » avec le statut hydrique de la plante tout au long de son cycle de croissance, ce qui dépend de l'approvisionnement en eau dans la zone racinaire et de la capacité des racines à adsorber l'eau, ce qui confirme la pertinence du calcul de la FTSW.** Enfin, il est nécessaire de vérifier cet étalonnage une fois par an en raison de l'évolution probable du système racinaire dans le bulbe humecté, principalement en ce qui concerne le développement des racines fines.

Bien que les potentiels hydriques foliaires ou la mesure des flux de sève (Scholash & Rienh, 2019) soient des méthodes de référence de mesure de l'état hydrique de la vigne et/ou de sa transpiration journalière, et donc fiables pour gérer l'irrigation de précision, il est cependant contraignant et onéreux de les mettre en œuvre à grande échelle.

MATURATION DES BAIES ET RENDEMENT

L'impact du statut hydrique de la vigne sur le développement et la physiologie de la vigne et des baies est connu et dépend : i) des seuils du statut hydrique de la vigne ; ii) du stade phénologique ; iii) de la durée de la contrainte ou du stress hydrique de la vigne (Alatzas *et al.*, 2021 ; Deloivre et Pellegrino, 2021 ; Medrano *et al.*, 2003).

Une hiérarchie des réponses au déficit hydrique a été rapportée pour la vigne, tout comme pour d'autres cultures (Lebon *et al.*, 2006 ; Muller *et al.*, 2011). Bien que le développement des pousses secondaires et des primordia d'inflorescence dans les bourgeons d'hiver (conditionnant la fertilité de la vigne l'année suivante donc le potentiel de rendement) soit impacté par un léger déficit hydrique (Guilpart *et al.*, 2014 ; Lebon *et al.*, 2006), le contrôle de la photosynthèse, des rameaux primaires et de la croissance des baies ne se produit qu'à des déficits hydriques modérés (Keller *et al.*, 2006 ; Lebon *et al.*, 2006 ; Levin *et al.*, 2020).

Dans cette étude, le suivi de la croissance et de la maturation des baies a confirmé l'importance d'initier les échantillonnages des baies au moins 10 jours avant la véraison afin de comprendre les conséquences d'une forte contrainte hydrique sur la qualité et les rendements et d'en minimiser les effets. Il est d'ailleurs recommandé de suivre la maturation des fruits par baie pour les métabolites primaires et secondaires (en mg par baie), ce qui apporte des informations supplémentaires par rapport au suivi en concentration seule (en g par litre).

En 2023, la surface foliaire exposée (SFE) de la modalité non irriguée correspondait à seulement 45 % de la SFE de référence (i.e. la surface foliaire permise par le système de palissage) quand celle de la modalité irriguée a atteint 65 %. L'irrigation de conservation n'a donc pas permis un développement optimal du feuillage, mais a tout de même permis une augmentation de 50 % par rapport à la modalité témoin. La cinétique de maturation (chargement en sucres et dégradation de l'acide malique par baie) était identique entre les deux modalités alors que le rendement de la modalité irriguée avec une quantité d'eau limitée par cep, était 75 % supérieure à celui de la modalité témoin (2.1 kg/cep pour IRR et 1.2 kg/cep pour TEM).

L'IRRIGATION DE CONSERVATION SOUS LES CLIMATS SEMI-ARIDES EST ESSENTIELLE POUR MAINTENIR LA PÉRENNITÉ DES VIGNOBLES

En 2022, la modalité IRR a été irriguée trois fois entre la véraison et la récolte, recevant un volume d'eau total par cep de 48 L (équivalent à 190 m³/ha pour une densité de plantation de 4000 ceps par hectare). En 2023, en raison de conditions printanières plus sèches, IRR a été irriguée sept fois entre le débourrement et la récolte, correspondant à un volume total de 107 L par cep (équivalent à 430 m³/ha). L'irrigation de conservation avec des apports faibles (par rapport aux besoins en eau de la vigne sur son cycle de production, besoins rappelés en début d'article) a pourtant permis de maintenir la productivité du vignoble au-dessus du seuil de rentabilité. **Ces résultats pourraient aider les viticulteurs et les arboriculteurs à optimiser leur irrigation de précision dans un souci de gestion durable des ressources hydriques, en considérant les prérequis cités dans l'article : étude de la mesure de la réserve utile du sol, description de l'architecture racinaire, caractérisation des seuils de contrainte hydrique de la plante et dispositifs de mesures de l'humidité du sol.**

Chaque situation étant spécifique (variété x type de sol x implantation racinaire x climat), aucune directive universelle ne peut donc être proposée, car une calibration est nécessaire pour mettre en place une stratégie d'irrigation de conservation, économe en eau et tenant compte des objectifs appliqués tels que rendement et qualité des produits, afin d'assurer la pérennité des exploitations viticoles et arboricoles.

Enfin, il est nécessaire de préciser que l'irrigation de conservation ne se substitue pas aux autres techniques culturales d'optimisation de la ressource hydrique mais en est complémentaire. Pour faire face à la rareté de l'eau, le matériel végétal (variété x porte-greffe) est aussi un levier important. Les traits adaptatifs au déficit hydrique n'incluent pas seulement l'implantation du système racinaire, mais aussi le type de formation racinaire (par exemple, le pourcentage de racines fines) et la fonction racinaire (Branas et Vergnes, 1957; Gambetta *et al.*, 2013; Seguin, 1972; Smart *et al.*, 2006; Van Zyl, 1988; Williams et Smith, 1991). La création de nouveaux porte-greffes pour l'adaptation de la vigne à la sécheresse est donc cruciale mais complexe, car elle doit favoriser une bonne capacité d'enracinement et un bon développement racinaire, tout en améliorant les capacités d'enracinement à la fois par des racines de gros diamètre pour explorer des zones de sol plus profondes et des racines fines pour extraire plus efficacement les nutriments minéraux et l'eau (Tandonnet *et al.*, 2018).

La méthodologie précise de l'étude est disponible sur demande (pmarty@domaine-lafage.com).

Bibliographie

- Alatzas, A., Theocharis, S., Miliordos, D.-E., Leontaridou, K., Kanellis, A. K., Kotseridis, Y., Hatzopoulos, P., & Koundouras, S. (2021). The Effect of Water Deficit on Two Greek *Vitis vinifera* L. Cultivars: Physiology, Grape Composition and Gene Expression during Berry Development. *Plants* 10, no. 9: 1947. <https://doi.org/10.3390/plants10091947>
- 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* 55:131-146. <https://doi.org/10.20870/oenone-2021.55.2.4527>
- Branas, J., & Vergnes, A. (1957). Morphologie du système racinaire. *Progrès Agricole et Viticole Tome CLXV 74^{ème} Année* Nr 3-429-32 Nr 7-894-104 Nr 9-10122-129 Nr 11-12147-158 Nr 13173-183 Nr 14-15203-209.
- Carbonneau, A., Torregrosa, L., Deloire, A., Pellegrino, A., Pantin, F., Romieu, C., Ojeda, H., Jaillard, B., Méta, A., & Abbal P. (2020). *Traité de la Vigne, Physiologie-Terroir-Culture*, Dunod Editeur, Paris, France. ISBN 978-2-10-079857-5, 689 p.
- Cook, F. J., Thorburn, P. J., Fitch, P., & Bristow, K. L. (2003). WetUp: a software tool to display approximate wetting patterns from drippers. *Irrigation Science* 22:129-134. <https://doi.org/10.1007/s00271-003-0078-2>
- Deloire, A., & Pellegrino, A. (2021). Review of vine water deficit. What levers for the vineyard in the short and medium term? *IVES Technical Reviews*. <https://doi.org/10.20870/IVESTR.2021.4842>
- Gambetta, G. A., Fei, J., Rost, T. L., Knipfer, T., Matthews, M. A., Shackel, K. A., Walker, M. A., & McElrone, A. J. (2013). Water Uptake along the Length of Grapevine Fine Roots: Developmental Anatomy, Tissue-Specific Aquaporin Expression, and Pathways of Water Transport. *Plant Physiology* 163:1254-1265. <https://doi.org/10.1104/pp.113.221283>
- Guilpart, N., Méta, A., & 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* 54:9-20. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002>

- Keller, M., Smith, J., & Bondada, B. (2006). Ripening grape berries remain hydraulically connected to the shoot. *Journal of Experimental Botany* 57:2577-2587. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl020>
- Lebon, E., Dumas, V., Pieri, P., & Schultz, H. (2003). Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. *Functional Plant Biology*. 30. 699-710. <https://doi.org/10.1071/FP02222>
- Lebon, E., Pellegrino, A., Louarn, G., & Lecoeur, J. (2006). Branch Development Controls Leaf Area Dynamics in Grapevine (*Vitis vinifera*) Growing in Drying Soil. *Annals of Botany* 98:175-185. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl085>
- Levin, A. D., Deloire, A., & Gambetta G. A. (2020). Does water deficit negatively impact wine grape yield over the long term? *IVES Technical Reviews*. <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2019.4029>
- Medrano, H., Escalona, J. M., Cifre, J., Bota, J., & Flexas, J. (2003). A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Functional Plant Biology* 30(6):607-619. <https://doi.org/10.1071/FP02110>
- Muller, B., Pantin, F., Génard, M., Turc, O., Freixes, S., Piques, M., & Gibon, Y. (2011). Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal of Experimental Botany* 62:1715-1729. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq438>
- Pellegrino, A., Lebon, E., Voltz, M., & Wery, J. (2004). Relationships between plant and soil water status in vine (*Vitis vinifera* L.). *Plant and Soil* 266, 129-142. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-0874-y>
- Pisciotta, A., Di Lorenzo, R., Santalucia, G., & Barbagallo, M. G. (2018). Response of grapevine (*Cabernet Sauvignon cv*) to above ground and subsurface drip irrigation under arid conditions. *Agricultural Water Management* 197:122-131. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.11.013>
- Rogiers, S. Y., Greer, D. H., Hutton, R. J., & Landsberg, J. J. (2009). Does night-time transpiration contribute to anisohydric behaviour in a *Vitis vinifera* cultivar? *Journal of Experimental Botany* 60:3751-3763. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp217>
- 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
- Seguin, G. (1972). Répartition dans l'espace du système racinaire de la vigne. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 274 2178-2180.
- Smart, D. R., Schwass, E., Lakso, A., & Morano, L. (2006). Grapevine Rooting Patterns: A Comprehensive Analysis and a Review. *American Journal of Enology and Viticulture* 57:89-104. <https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.1.89>
- Tandonnet, J.-P., Marguerit, E., Cookson, S. J., & Ollat, N. (2018). Genetic architecture of aerial and root traits in field-grown grafted grapevines is largely independent. *Theoretical and Applied Genetics* 131:903-915. <https://doi.org/10.1007/s00122-017-3046-6>
- Van Zyl, J. L. (1988). Response of grapevine roots to soil water regimes and irrigation systems. In: Van Zyl J. L. (Ed.) *The Grapevine Root and its Environment*. Pretoria: Department of Agriculture and Water Supply, pp 30-43.
- Williams, L. E., & Smith, R. J. (1991). The Effect of Rootstock on the Partitioning of Dry Weight, Nitrogen and Potassium, and Root Distribution of Cabernet Sauvignon Grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* 42:118-122. <https://doi.org/10.5344/ajev.1991.42.2.118>

ANNONCE



LES FRÈRES DUTRUY
PÉPINIÈRES VITICOLES

PLANTATION À LA MACHINE GPS
SÉLECTIONS MASSALES
NOUVEAUX CLONES
PRODUCTION DE PORTE-GREFFES CERTIFIÉS

Christian et Julien Dutruy, Grand-Rue 18, 1297 Founex
+41 22 776 54 02, admin@lesfreresdutruy.ch

PARTENAIRE
MONDIAL
DU CHASSÉLAS
GUSTAT • FOUNEX

**DES PROFESSIONNELS
À VOTRE SERVICE**