

## Analyse des méthodes d'évaluation de l'état hydrique de la vigne

L'évaluation de l'état hydrique de la vigne est cruciale pour optimiser les pratiques culturales et les stratégies d'irrigation tout en garantissant une viticulture durable sur les plans environnemental et économique. Au regard des résultats les plus récents de la littérature, cet article fait un point critique des principales méthodes de mesures effectuées directement sur les plantes.

### Observation visuelle

La façon la plus simple d'évaluer l'état hydrique d'une vigne est l'observation directe sur le terrain. La perte de turgescence d'abord perceptible dans les vrilles, suivie par le ralentissement de la croissance végétative, est l'une des premières réponses d'une plante détectant une limitation de l'approvisionnement en eau. Ce ralentissement de la croissance des rameaux peut être constaté par la simple observation du méristème apical des rameaux primaires ou secondaires des rameaux de la vigne. Toutefois, cette méthode ne peut pas être appliquée pour estimer les besoins en eau d'irrigation après la fin de la croissance des rameaux, la coupe du méristème (via la pratique classique de l'écimage) ou une fois que le méristème est desséché.

### Mesure en chambre de pression

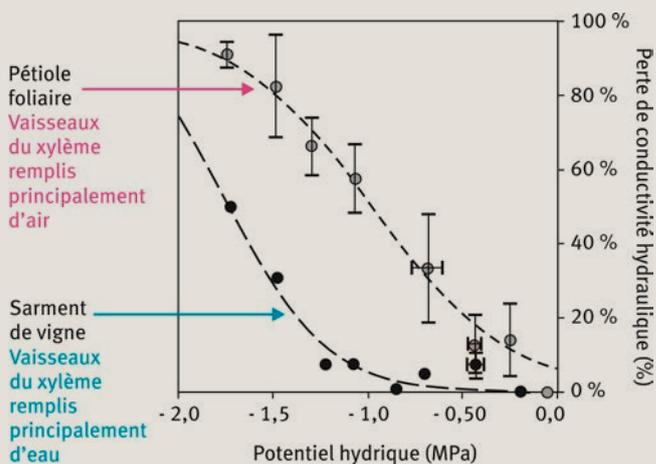
Le potentiel du xylème de la vigne ( $\Psi$ ) est la tension (c'est-à-dire une pression négative) sous laquelle l'eau (ou xylème) circule des racines à l'interface feuille-air où elle se vaporise. Le potentiel du xylème peut être mesuré au niveau du pétiole pour refléter le potentiel hydrique de la feuille ou de la tige.

Pour maintenir un flux d'eau continu des racines aux feuilles, où il est transpiré à travers les stomates, la tension de la colonne d'eau à l'intérieur de la vigne augmente progressivement de l'interface sol-racines à l'interface feuilles-air (donc le potentiel hydrique diminue progressivement). Lorsque la tension du xylème devient trop élevée, des bulles d'air se forment à l'intérieur des vaisseaux du xylème, ce qui a pour conséquence de déconnecter progressivement les pétioles des feuilles de la pousse. Ce phénomène est appelé cavitation et il est mesuré par la perte de conductivité hydraulique (Hochberg *et al.*, 2017 ; Charrier *et al.*, 2016). Lorsque le potentiel du xylème diminue, la déconnexion hydraulique entre le pétiole et le rameau augmente, comme le montrent les courbes de vulnérabilité du xylème (figure 1).

La figure 1 montre que lorsque le potentiel du xylème est proche de -12 bars au niveau du pétiole, seuls 50 % des vaisseaux du xylème restent remplis d'eau. Les 50 % restants ne contribuent plus à la conductivité de l'eau entre la feuille et le rameau. Comme les feuilles se déconnectent progressivement du rameau, la cavitation induite par la haute tension de l'eau ne se propage pas au rameau, la feuille agit comme un « fusible hydraulique ». Le potentiel hydrique des feuilles est utile pour évaluer le stress hydrique perçu au niveau des feuilles. Cependant, en raison de la segmentation hydraulique entre rameau et feuilles, l'état hydrique de la feuille n'est pas nécessairement en équilibre avec l'état hydrique des autres organes comme par exemple les rameaux (figure 1).

Malgré la limite « physiologique » du potentiel foliaire pour l'estimation des besoins en eau de l'ensemble de la plante, la mesure en chambre à pression est très utilisée, en raison notamment de la simplicité mécanique de la méthode. Elle se subdivise en trois protocoles de mesure.

1 Courbe de vulnérabilité du xylème du pétiole et des rameaux (adapté de Charrier *et al.*, 2016).



### Potentiel hydrique foliaire $\Psi_f$

La mesure est habituellement prise à midi solaire, sur une feuille adulte bien exposée. Bien que très rapide à effectuer et intervenant à un moment de la journée compatible avec le travail humain (par contraste avec les mesures de potentiel foliaire effectuées au vignoble avant le lever du soleil), cette évaluation présente un biais important pour le contrôle de l'irrigation. En effet, il n'existe pas nécessairement d'homéostasie entre le potentiel hydrique des feuilles et le potentiel hydrique des autres organes ou du sol. La valeur lue fluctue rapidement (ie. en quelques minutes) en fonction des conditions environnementales (comme le passage des nuages).

### Potentiel hydrique de tige $\Psi_t$

Il est déterminé en enfermant une feuille dans un sac en aluminium pendant quarante-cinq à cent-vingt minutes avant la mesure. De cette façon, la feuille réduit sa transpiration et équilibre son potentiel hydrique par rapport au potentiel hydrique de la tige (mais pas nécessairement par rapport au potentiel hydrique du rameau car celui-ci varie en fonction de la perte de conductivité hydraulique du pétiole). Le potentiel hydrique des tiges est sensible au déficit de pression de vapeur et intègre l'effet combiné de la disponibilité en eau du sol et des tissus d'une part et de la demande climatique d'autre part.

### Potentiel hydrique foliaire de base $\Psi_b$

Il est mesuré juste avant le lever du soleil sur les feuilles adultes lorsque  $\Psi_b$  atteint son niveau maximum quotidien avant l'aube. On suppose que le potentiel hydrique de tous les organes de la plante et du sol atteint un équilibre pendant la nuit. Cependant, l'atteinte de cet équilibre par  $\Psi_b$  reste affecté par la transpiration nocturne, les transferts d'eau entre organes et le déficit en vapeur d'eau (VPD). (Coupel-Ledru *et al.*, 2016 ; Rogiers *et al.*, 2009). Par conséquent,  $\Psi_b$  reflète l'effet de l'eau disponible entre les différents organes sur le potentiel xylémien avant que la transpiration diurne n'augmente.  $\Psi_b$  ne reflète pas nécessairement la quantité d'eau disponible dans le sol, particulièrement pendant les nuits chaudes.

$\Psi_b$ ,  $\Psi_t$  et  $\Psi_f$  peuvent représenter des méthodes tout aussi robustes d'évaluation de l'état hydrique des feuilles. Cependant, ces mesures peuvent être déconnectées de l'état hydrique de la vigne entière, en particulier dans les situations semi-arides sujettes à la cavitation, et ne fournissent pas au viticulteur une information toujours fiable sur le stock d'eau restant dans le sol ni sur la quantité d'eau à appliquer.

Dans le tableau 1, les valeurs couramment observées du potentiel hydrique des feuilles de vigne et l'estimation empirique du stress hydrique qui y est associée sont résumées à partir de différentes études (van Leeuwen *et al.*, 2009 ; Carbonneau, 1998 ; Lovisolo *et al.*, 2010, 2016).

### Analyse de la composition isotopique du carbone

Ce paramètre est mesuré sur les sucres des organes végétaux, baies, moût ou des vins, et montre une corrélation avec les potentiels hydriques mesurés au cours de la saison. Il est généralement effectué à la fin de la saison et n'est donc pas bien adapté à la gestion quotidienne de l'irrigation en cours de saison.

C'est un outil pertinent pour évaluer l'effet des stratégies de gestion du vignoble, du sol et du climat sur l'assimilation du carbone. L'assimilation du carbone est liée aux déficits en azote et en eau.

### Mesure basée sur les flux de sève

Le flux de sève est le mouvement de l'eau à l'intérieur du xylème, des racines aux feuilles, où elle est transpirée à travers les stomates. Le flux de sève mesure directement la quantité d'eau utilisée au niveau de la vigne. Il existe deux méthodes de mesure.

#### Méthode de la sonde de dissipation thermique

Cette méthode utilise des sondes insérées comme des aiguilles dans la vigne. Vergeynst *et al.* (2014) ont montré que la variation circonférentielle et radiale de la densité du flux de sève peut entraîner à la fois une sous-estimation et une surestimation du flux de sève. De plus, le flux de sève peut être sous-estimé lorsque l'aiguille chauffée est en contact avec des tissus non conducteurs. Par conséquent, la méthode de la sonde de dissipation thermique n'est pas adaptée à un usage commercial.

1 Gros plan sur un capteur de flux de sève posé sur un rameau latéral de vigne. La languette chauffante entoure toute la section du rameau. Des capteurs de température permettent de mesurer la quantité de chaleur déplacée par la sève.



1 Valeur du potentiel hydrique ( $\Psi$ ) pour apprécier l'état hydrique de la vigne à feuilles. Adapté de Carbonneau (1998), Lovisolo *et al.* (2010, 2016) and van Leeuwen *et al.* (2009).

	$\Psi_{PD}$ (MPa)	$\Psi_{Stem}$ (MPa)	$\Psi_{Leaf}$ (MPa)
Aucun déficit en eau	$> -0,2$	$> -0,6$	$> -0,9$
Léger déficit en eau	$-0,2 \text{ à } -0,3$	$> -0,6 \text{ à } -0,9$	$-0,9 \text{ à } -1,1$
Déficit hydrique modéré	$-0,3 \text{ à } -0,5$	$-0,3 \text{ à } -0,5$	$-1,1 \text{ à } -1,3$
Déficit hydrique modéré à stress hydrique sévère	$-0,5 \text{ à } -0,8$	$-1,1 \text{ à } -1,4$	$-1,3 \text{ à } -1,4$
Stress hydrique grave	$< -0,8/0,9$	$< -1,4$	$< -1,4$

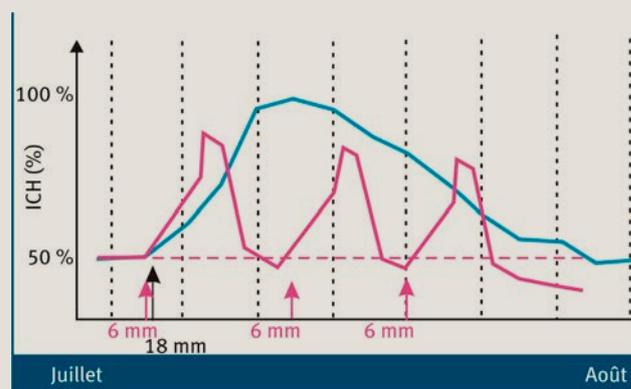
### La méthode du bilan thermique de la tige

La conception du capteur de flux de sève consiste en une languette chauffée qui est enroulée autour de la tige (Lascano *et al.*, 2014a). La chaleur est fournie uniformément et radialement sur toute la section de la tige ; le manchon est flexible et maintient un bon ajustement entre la tige et le thermocouple pendant les contractions diurnes de la tige (photo ❶). Les capteurs peuvent être appliqués sur des tiges légèrement courbées ou même partiellement nécrosées, comme on l'observe parfois en réponse à des plaies de taille. Comme toute la section de la tige est chauffée, la méthode du bilan thermique peut être appliquée même si la trajectoire de l'écoulement de la sève à travers la tige est tortueuse. Les résultats (Zhang *et al.*, 2011) montrent que le bilan thermique de la tige est une méthode fiable pour calculer l'utilisation de l'eau de la vigne (c'est-à-dire la transpiration) séparément des autres composants de l'évapotranspiration (tels que l'évaporation du sol ou la transpiration des plantes couvrant le sol entre les rangs). Pour ces raisons, des capteurs de débit de sève non intrusifs ont été adoptés avec succès comme pratique pour orienter les stratégies d'irrigation (Ginestar *et al.*, 1998 ; Scholasch, 2018) (figure ❷).

### Conclusion

Les mesures de potentiel hydrique ne sont pas toujours les plus adaptées pour contrôler l'effet de l'irrigation. En effet, l'impact des fluctuations climatiques sur la valeur lue ou sur la conductivité hydraulique entre la feuille et le rameau ne permet pas de relier systématiquement le potentiel hydrique avec le besoin d'irrigation perçu par l'ensemble des organes. Cette limite méthodologique est particulièrement aigüe dans un contexte de réchauffement de la température et d'aridité accrue où l'irrigation doit être gérée avec plus de précision. Comme les vagues de chaleur sont de plus en plus fréquentes,

### ❷ Effet d'un petit et d'un grand volume d'irrigation sur l'utilisation de l'eau de la vigne.



ICH est l'indice de confort hydrique. Ce ratio se calcule quotidiennement comme le rapport entre la transpiration réelle effectivement mesurée et la transpiration potentielle (attendue d'après l'analyse climatique). Lorsque l'ICH est bas, la capacité de refroidissement du feuillage est faible. Par conséquent, pendant les vagues de chaleur, les risques de brûlures et de perturbation du fonctionnement photosynthétique sont plus importants. La courbe rose montre que l'ICH atteint plus fréquemment des valeurs basses susceptibles de perturber le fonctionnement de la plante et la maturation du fruit. La courbe rose montre les variations du ratio ICH lorsque des petits volumes sont appliqués (6 mm) ; la courbe bleue montre les variations du ratio ICH lorsqu'un gros volume (18 mm) est appliqué.

la stratégie d'irrigation devrait intégrer l'influence des variations du déficit de pression de vapeur de l'air sur la consommation réelle de l'eau par la vigne. En outre, la stratégie d'irrigation devrait idéalement être dépendante de la variété pour mieux s'adapter aux spécificités de la régulation hydraulique en fonction du stade de développement (Scholasch, 2019). ■

### EN SAVOIR PLUS...

- ❶ CHARRIER, G., TORRES-RUIZ, J.M., BADEL, E., BURLETT, R., CHOAT, B., COCHARD, H., DELMAS, C.E.L., DOMEQ, J.-C., JANSEN, S., KING, A., LENOIR, N., MARTIN-STPAUL, N., GAMBETTA, G.A., DELZON, S., 2016, Evidence for Hydraulic Vulnerability Segmentation and Lack of Xylem Refilling under Tension, *Plant Physiology*, 172(3), p. 1657-1668.
- ❷ COUPEL-LEDRU, A., LEBON, E., CHRISTOPHE, A. *et al.*, 2016, Reduced nighttime transpiration is a relevant breeding target for high water-use efficiency in grapevine, *PNAS*, 113 (32), p. 8963-8968
- ❸ GINESTAR, C., EASTHAM, J., GRAY, S., ILAND, P., 1998, Use of Sap-Flow Sensors to Schedule Vineyard Irrigation. I. Effects of Post-Veraison Water Deficits on Water Relations, Vine Growth, and Yield of Shiraz Grapevines, *American Journal of Enology and Viticulture*, 49(4), p. 413-420.
- ❹ HOCHBERG, U., BONEL, A.G., DAVID-SCHWARTZ, R. *et al.*, 2017, Grapevine acclimation to water deficit: the adjustment of stomatal and hydraulic conductance differs from petiole embolism vulnerability, *Planta*, 245, p. 1091-1104, <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2662-3>
- ❺ LASCANO R., GOEBEL, T.S., BOOKER, J., BAKER, J.T., GITZ, D.C., 2016a, The stem heat balance method to measure transpiration: evaluation of a new sensor, *Agricultural Sciences*, 7(9), p. 604-620.
- ❻ ROGIERS, S., GREER, D.H., HUTTON, R.J., LANDSBERG, J.L., 2009, Does night-time transpiration contribute to anisohydric behaviour in a *Vitis vinifera* cultivar? Does night-time transpiration contribute to anisohydric behaviour in a *Vitis vinifera* cultivar?, *Journal of Experimental Botany*, vol. 60, n° 13, p. 3751-3763, <https://doi.org/10.1093/jxb/erp217>
- ❼ SCHOLASCH, T., 2018, Improving winegrowing with sap flow driven irrigation - a 10-year review, *Acta Hort.*, n° 1222, p. 155-168, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1222.21>
- ❽ SCHOLASCH, T., RIENTH, M., 2019, Technical and physiological considerations to optimize vineyard irrigation strategies? *OENO One*, vol. 53, n°3, <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.3.2407>
- ❾ VERGEYNST, L.L., VANDEGEHUCHTE, M.W., MCGUIRE, M.A., TESKEY, R.O., STEPPE, K., 2014, Changes in stem water content influence sap flux density measurements with thermal dissipation probes, *Trees*, 28(3), p. 949-955.
- ❿ ZHANG, Y., KANG, S., WARD, E.J., DING, R., ZHANG, X., ZHENG, R., 2011, Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest China: Dynamics and influential factors, *Agricultural Water Management*, 98(8), p. 1207-1214, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.03.006>

## Les auteurs

### Thibaut SCHOLASCH

Fruition Sciences, MIBI,  
672 rue du Mas de Verchant, F-34000 Montpellier, France.

✉ [thibaut@fruitionsciences.com](mailto:thibaut@fruitionsciences.com)

### Markus RIENTH

Haute école de viticulture et œnologie de Changins,  
Route de Duillier, 1260 Nyon, Suisse.

✉ [markus.rienth@changins.ch](mailto:markus.rienth@changins.ch)

*L'évaluation de l'état hydrique de la vigne est cruciale pour optimiser les pratiques culturales et les stratégies d'irrigation.*