

Conservation des sols et gestion de l'eau

Dans un contexte de changement climatique et d'économie en ressources naturelles, la disponibilité en eau est un élément clé pour la viticulture. Aussi, la station viticole d'Agroscope du Caudoz a entrepris, dès les années 1990, des travaux de prospection sur l'impact d'un manque d'eau associé à des températures élevées sur le comportement de la vigne. L'un des objectifs de cette recherche est de fournir aux viticulteurs les éléments d'information nécessaires pour la conduite de la vigne (rapport feuilles-fruits, entretien du sol...), dans une situation donnée, et pour les cépages les mieux adaptés qui permettent d'assurer un rendement correct et des vins de qualité. Grâce à ces recherches, Agroscope est en mesure de proposer aux praticiens des outils informant sur le statut hydrique de la vigne, tels que la chambre à pression. Cette dernière peut être utilisée directement dans le vignoble; son emploi est simple, relativement rapide et représente une aide notoire à la décision pour le pilotage de l'irrigation.

Indicateurs du statut hydrique de la vigne



Résumé

Les indicateurs les plus pertinents du statut hydrique de la vigne reposent sur l'observation du végétal (croissance végétative, symptômes sur feuilles) et les mesures du potentiel hydrique du feuillage, au moyen de la chambre à pression de Scholander. Cette dernière technique permet d'estimer la force avec laquelle la sève brute est retenue dans les feuilles. La sève sous tension est directement liée au niveau d'approvisionnement en eau de la vigne qui dépend de la réserve en eau du sol et de la demande évaporatoire de l'air. La mesure du potentiel hydrique indique ainsi le statut hydrique de la vigne et l'intensité de la contrainte. L'utilisation au vignoble de la chambre à pression est simple et relativement rapide. Elle représente notamment un outil d'aide à la décision pour piloter l'irrigation. Les autres indicateurs physiologiques tels que la composition isotopique du carbone, la dendrométrie, la mesure des échanges gazeux du feuillage et les flux de sève sont plutôt dévolus à la recherche. On notera que le développement de modèles de bilan hydrique représente encore un défi dans les vignobles en forte pente.

L'eau: un élément clé pour l'agriculture

Dans un contexte de changement climatique et d'économie des ressources naturelles, la disponibilité en eau est un élément clé pour l'agriculture en général et pour la viticulture en particulier. En fonction des conditions climatiques et des types de sols, la gestion des besoins en eau de la vigne peut varier considérablement. Les techniques culturales comme l'entretien des sols, les systèmes de conduite et le rapport feuille-fruit entre autres, influencent largement le régime hydrique de la vigne en cours de saison. Face aux aléas de l'évolution du climat, la station viticole d'Agroscope du Caudoz (Pully) a développé depuis les années 1990 des travaux de prospection sur l'impact d'un manque d'eau associé à des températures élevées, notamment sur le comportement et la capacité d'adaptation des cépages et sur le potentiel de rendement et la qualité des vins (Spring

et Zufferey 2009). L'influence de stress abiotiques (sécheresse, brusques écarts thermiques) sur le déclenchement d'accidents physiologiques comme le foltage des grappes (fig. 1), le dessèchement de la rafle (fig. 2), ou la formation d'embolie (bulles d'air) dans les vaisseaux de la vigne est suivie de près en relation avec l'évolution climatique (Zufferey *et al.* 2011), tout comme l'adaptation des techniques culturales et le développement de stratégies de lutte contre ces accidents. Des pistes sont également explorées pour assurer une bonne gestion de la vigueur et une alimentation hydro-azotée équilibrée, notamment par le choix du matériel végétal, la gestion de l'entretien des sols et de la fumure azotée, les pratiques d'irrigation et le choix du mode de conduite et du rapport feuille-fruit.

L'usage d'indicateurs pertinents du régime hydrique de la vigne est indispensable pour une gestion raisonnée de l'eau au vignoble.

Indicateurs de l'état hydrique

De nombreuses approches permettent d'évaluer le régime hydrique de la vigne, facteur majeur du terroir. Les premières études, menées dans le Bordelais (Seguin 1975) au cours des années 70, étaient fondées sur la mesure de la quantité d'eau dans le sol à l'aide d'un humidimètre à neutrons. Cette dernière permet d'estimer l'humidité volumique du sol en profondeur et d'étudier son régime hydrique. Elle a aussi très vite rencontré ses limites, liées aux particularités des sols viticoles, souvent profonds et caillouteux, et à une colonisation en profondeur du système racinaire de la vigne. Par ailleurs, cette technique ne prend pas en compte les apports d'eau latéraux, ni le ruissellement dans les vignes en pente. La grande hétérogénéité des sols rend la mesure et la représentativité des résultats des plus aléatoires. L'utilisation de nouvelles sondes de type TDR (*Time Domain Reflectometry*) se heurte aux mêmes inconvénients. De surcroît, quand le sol s'assèche, son potentiel hydrique peut devenir inférieur à -1 bar, valeur pour laquelle la majorité des tensiomètres ne sont plus opérationnels. Or, à ce niveau de potentiel, la vigne ne subit encore aucune contrainte hydrique. Au vu des difficultés à évaluer le régime hydrique de la vigne par la mesure de l'humidité des sols, une autre approche a été largement privilégiée, fondée sur des indicateurs physiologiques du fonctionnement de la vigne elle-même. La plante est alors utilisée comme indicateur de son propre état hydrique.

Croissance végétative

Les indicateurs du fonctionnement physiologique de la vigne reposent sur l'estimation directe de l'état hydrique de la plante ou sur la réponse physiologique



Figure 1 | Folletage des grappes. A gauche une grappe saine, à droite une grappe folletée.

du végétal face à la disponibilité en eau. Pour le viticulteur, l'observation du végétal demeure essentielle car la vigne réagit rapidement à l'offre en eau, à travers sa croissance végétative. En effet, une contrainte hydrique progressive entraîne un ralentissement de la croissance qui précède son arrêt. L'état de croissance des vignes est un paramètre intégrateur du comportement de la plante qui dépend largement du régime hydrique pour autant que la nutrition minérale (principalement l'azote) et la température ne soient pas limitantes et qu'aucun problème phytosanitaire n'entrave son système racinaire. Une méthode de terrain, simple et non destructive, a été proposée, qui consiste à noter l'état de croissance des apex des rameaux principaux et/ou secondaires (Rodriguez-Lovelle *et al.* 2009). Trois états de croissance sont notés: rameaux ou apex en croissance, ralentissement et arrêt de la croissance avec le brunissement et la chute des apex. La chute de l'apex indique une contrainte hydrique modérée, subie par la vigne, qui précède généralement le jaunissement des feuilles principales, situées à la base des rameaux. Le jaunissement des feuilles de la base des rameaux indique que la vigne subit une contrainte modérée à forte. La chute de ces feuilles est le signe tangible d'une très forte sécheresse subie par la plante. On parle dans ce cas de **stress hydrique** >



Figure 2 | Dessèchement de la rafle.



Figure 3 | Vigne en pleine croissance.

(fig 3). D'autres indicateurs physiologiques (potentiel hydrique du feuillage, transpiration foliaire...) nécessitent un appareillage spécifique. La mesure du potentiel hydrique des feuilles est rendue possible au vignoble.

Mesure du potentiel hydrique du feuillage

La mesure du potentiel hydrique foliaire est la méthode la plus couramment utilisée pour évaluer l'état hydrique de la vigne. Elle est considérée aujourd'hui comme la méthode de référence (van Leeuwen *et al.* 2009). La mesure du potentiel hydrique

des feuilles (ψ), réalisée au moyen de la chambre à pression de Scholander (fig. 4) permet de mesurer le niveau de contrainte hydrique subie par la vigne en estimant la tension d'eau qui règne dans les feuilles ou les rameaux. Cette technique constitue un indicateur pertinent de la disponibilité en eau pour la plante et traduit la force avec laquelle l'eau (sève brute) est retenue dans les feuilles. Les valeurs du potentiel hydrique sont exprimées en bars et négativement (pression négative): plus les valeurs de ψ sont négatives, plus la contrainte hydrique est élevée. La mesure du potentiel hydrique peut s'effectuer de nuit (ψ nuit) lorsque la transpiration de la vigne est très fortement réduite: dans ce cas, l'état hydrique de la vigne est en équilibre avec les disponibilités en eau du sol. En cours de journée, la mesure du ψ exprime le niveau de contrainte hydrique subie par la vigne lorsque la demande évaporatoire (température, humidité de l'air) est la plus élevée et la transpiration foliaire maximale, par exemple l'après-midi. La mesure peut se réaliser sur des feuilles ensachées (on parle de potentiel de tige, ψ tige) ou sur des feuilles non ensachées, à l'ombre de préférence (ψ feuilles ombre). Le tableau 1 illustre les différents seuils de contrainte hydrique de

Tableau 1 | Seuils de potentiels hydriques (ψ) permettant d'estimer le degré de contrainte hydrique de la vigne.

Valeurs en bars	ψ feuilles (de nuit)	ψ feuilles ombre (après-midi)	ψ tige (après-midi)
Aucun stress	-0,5 à -1,5	> -7	> -6
Stress faible	-1,5 à -3	-7 à -10	-6 à -9
Stress modéré	-3 à -5	-10 à -12	-9 à -11
Stress fort	-5 à -8	-12 à -15	-11 à -14
Stress sévère	< -8	< -15	< -14

la vigne et les valeurs de potentiel hydrique du feuillage correspondant, observées soit de nuit ou de jour.

La méthode de la chambre à pression est simple et relativement rapide. Elle est utilisée en plein champ comme une aide à la décision pour piloter l'irrigation, notamment dans de grands domaines viticoles du nouveau monde (Californie, Chili, Argentine et Australie). Cette technique nécessite néanmoins des mesures répétées pour connaître l'évolution du potentiel hydrique du vignoble lorsque les premiers symptômes de la contrainte se manifestent.

Signatures isotopiques

La majorité des éléments chimiques engagés dans les processus physiologiques comme le carbone, l'hydrogène, l'oxygène ou l'azote possèdent des isotopes stables (c'est-à-dire non radioactifs) qui peuvent être détectés. Pour le carbone, l'isotope léger ^{12}C représente près de 98,9% de l'ensemble des molécules carbonées de la biosphère et l'isotope lourd ^{13}C environ 1,1%. Le rapport entre les isotopes léger et lourd ($R=^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), nommé $\delta^{13}\text{C}$, varie très faiblement, mais de façon détectable par spectrométrie de masse isotopique notamment en fonction de l'alimentation en eau de la plante. La mesure du $\delta^{13}\text{C}$ dans les sucres des moûts à la vendange constitue un indicateur global de la contrainte hydrique subie par la vigne au cours de la maturation du raisin (phase d'accumulation des sucres) (Gaudillière *et al.* 2002). De bonnes corrélations ont été obtenues entre le statut hydrique de la vigne, estimé par le potentiel hydrique de nuit (ψ nuit) ou de tige (ψ tige), et la composition isotopique du carbone $\delta^{13}\text{C}$ dans les sucres de moût à la récolte. Par ailleurs, des valeurs seuils de $\delta^{13}\text{C}$ ont été proposées (Van Leeuwen *et al.* 2009) qui permettent

d'estimer la contrainte hydrique durant la maturation du raisin. L'intérêt de cet indicateur réside dans sa grande accessibilité, comparé aux mesures du potentiel hydrique foliaire. Il est utilisé avec succès en complément aux mesures classiques (potentiels hydriques) dans la caractérisation du régime hydrique des terroirs. Néanmoins, cet indicateur fournit une donnée intégrative de la contrainte hydrique durant la période d'accumulation des sucres, mais ne dit rien sur la période de déclenchement de la contrainte, ni sur sa durée.

Mesure des flux de sève, de la température foliaire et de la dendrométrie

Les capteurs de flux de sève fournissent une mesure directe de la transpiration globale d'un rameau ou d'une souche entière. Les différentes méthodes de mesure des flux de sève reposent toutes sur des principes thermiques, comme la méthode de bilan de chaleur, la dissipation de chaleur dite «méthode Granier» ou l'impulsion de chaleur.

Un élément chauffant apporte de l'énergie au volume de bois (rameau ou tronc) à puissance constante et les pertes de chaleur sont mesurées par des thermocouples. La méthode assimile les pertes thermiques à la conduction de la sève et donc à l'intensité de la transpiration. Les variations de flux de sève sont liées au degré d'ouverture des stomates qui est largement dépendant de l'environnement climatique et de l'état hydrique des souches de vigne (Scholasch 2018). Néanmoins, l'installation des capteurs peut s'avérer délicate en raison des irrégularités des sections de tronc, du bois mort et des plaies de taille. Ces techniques de bilan thermique doivent être bien maîtrisées (bonne isolation du système de mesure) car elles peuvent être



Figure 4 | Méthode de terrain, simple et non destructive consistant à noter l'état de croissance des apex des rameaux principaux et/ou secondaires. De gauche à droite: Contrainte hydrique forte à faible.



Figure 5 | Symptômes de stress hydrique (jaunissement du feuillage à la base des rameaux dans un terroir relativement sec.

perturbées par des modifications de l'environnement. Enfin, la surface foliaire transpirante, la réserve en eau des tissus et la régulation stomatique de la transpiration en fonction de la demande climatique et de la conductivité hydraulique des vaisseaux, représentent autant d'éléments à prendre en considération dans l'interprétation des résultats. La représentativité des valeurs de flux de sève acquises sur quelques souches devrait être comparée avec des mesures directes de potentiels hydriques à la parcelle.



Figure 6 | Mesure du potentiel hydrique des feuilles au vignoble.

D'autres indicateurs comme la **dendrométrie** (mesure de la micro-variation du diamètre des troncs) ou la mesure de la **température du feuillage** (imagerie par infrarouge) informent de manière indirecte sur les disponibilités en eau de la plante, mais demeurent très sujets aux variations de l'environnement (radiation, température...) ou à d'autres processus physiologiques comme la croissance pour la dendrométrie par exemple.

Apprendre à partir des modèles

Des avancées importantes ont été réalisées ces dernières décennies dans le développement de modèles de bilan hydrique (fig. 5) (Lebon *et al.*, 2003) pour évaluer le statut hydrique de la vigne. Le développement de tels modèles repose sur l'acquisition de données simples et accessibles, caractérisant la parcelle sur les plans climatiques et agronomiques (précipitations, ETP, stades phénologiques, gabarit de la végétation). Ces différents paramètres déterminent des coefficients cultureux d'interception du rayonnement solaire, de réduction de la transpiration de la végétation en période de dessèchement des sols et de l'intensité de l'évaporation direct du sol. Le modèle de Lebon *et al.* (2003) permet de calculer la fraction

d'eau du sol disponible durant la saison pour la transpiration du couvert (FTSW, *fraction of transpirable soil water*). Celle-ci est directement reliée au potentiel hydrique de nuit (ψ nuit) sur un site donné. Le paramétrage de ce type de modèle utilise la vigne comme indicateur de l'état hydrique du milieu à travers le potentiel hydrique de nuit et tient compte des principales caractéristiques parcellaires que sont les paramètres édaphiques, climatiques et physiologiques. La validation du modèle a fourni des résultats intéressants issus de différents sites en Suisse (Zufferey et Murisier 2007) et a permis de discriminer les niveaux de contrainte hydrique au travers de ses trois composantes principales qui sont l'époque d'apparition du stress, sa durée et son intensité.

Agroscope propose aux viticulteurs des outils d'aide à la décision

Agroscope apporte un soutien technique et scientifique aux viticulteurs et aux entreprises viticoles dans le choix et l'utilisation des indicateurs pertinents de l'alimentation hydrique, comme la chambre à pression qui connaît un développement certain au vignoble. Des séances d'information et de démonstration au champ sont organisées dans les différentes régions viticoles de Suisse. Ces indicateurs physiologiques constituent des outils d'aide à la décision (irrigation, gestion de l'entretien des sols...): néanmoins, l'observation des vignes et la connaissance des terroirs demeurent essentielles dans la gestion de l'alimentation en eau d'un vignoble. ■

Vivian ZUFFEREY, Thibaut VERDENAL et Jean-Laurent SPRING
Agroscope, 1009 Pully, Suisse

Renseignements: Vivian Zufferey, tél. +41 58 468 65 61,

e-mail: vivian.zufferey@agroscope.admin.ch, www.agroscope.ch

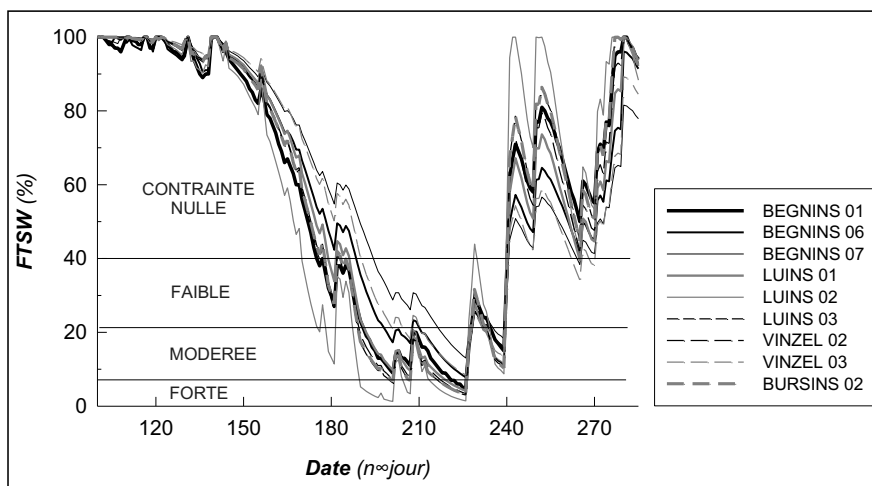


Figure 8 | Evolution saisonnière de la fraction d'eau disponible dans le sol pour la vigne (FTSW, *fraction of transpirable soil water*), calculé à partir du modèle de bilan hydrique de Lebon *et al.* (2003) dans différents terroirs vaudois.



Figure 7 | Appareil de mesure du potentiel hydrique (chambre à pression de Scholander).