DÉFICIT HYDRIQUE MODÉRÉ DE LA VIGNE : PARMI LES 3 APPLICATIONS DE LA CHAMBRE À PRESSION, LE POTENTIEL TIGE EST L'INDICATEUR LE PLUS PRÉCIS.

VINE WATER DEFICIT : AMONG THE 3 APPLICATIONS OF PRESSURE CHAMBER, STEM WATER POTENTIAL IS THE MOST SENSITIVE INDICATOR.

X. CHONÉ[1]*, O. TREGOAT[1], C. VAN LEEUWEN[1, 2] et D. DUBOURDIEU[1]

[1]Faculté d'Œnologie de Bordeaux, Université Bordeaux 2 Victor Ségalen,
351 cours de la Libération, 33405 Talence cedex, France
[2]ENITA de Bordeaux, 1 cours du Général de Gaulle, 33175 Gradignan cedex, France
[3]INRA de la Grande Ferrade, 71 av. Edouard Bourleau, 33140 Villenave d'Ornon, France.

Résumé : Le suivi de l'alimentation en eau de la vigne revêt un enjeu considérable pour la viticulture et l'œnologie. En effet, une contrainte hydrique modérée apparaissant après la floraison induit un accroissement du potentiel œnologique de la vendange pour les cépages rouges. Un indicateur robuste et sensible de l'état hydrique de la vigne, utilisable dans les conditions du vignoble, est nécessaire à la connaissance et à la maîtrise du régime hydrique de la vigne. La chambre à pression permet une détermination rapide et facile de l'état hydrique des végétaux en plein champ. Trois applications de la chambre à pression sont recensées : le potentiel foliaire de base (Ψ_B), le potentiel foliaire (Ψ_F) et le potentiel tige (Ψ_T). Seules les deux premières (Ψ_B et Ψ_F) ont été largement utilisées sur la vigne. En mesurant le Ψ_B, le Ψ_F et le Ψ_T sur les mêmes ceps et en étudiant la relation du Ψ_F et du Ψ_T avec la transpiration des feuilles, nous montrons que le Ψ_T déterminé lors du zénith est l'indicateur le plus précis des déficits hydriques modérés de la vigne. En effet, parmi les 3 applications de la chambre à pression, le Ψ_T est le seul à refléter l'état hydrique global de la vigne au cours de la journée. La valeur du Ψ_T représente l'effet de la différence entre l'absorption d'eau par le système racinaire et la transpiration du feuillage de la vigne.

Abstract : Vine water status is an important factor in grape quality. High tannin and anthocyanin content in red grape berries are related to moderate vine water deficits. Hence, a simple and sensitive indicator is required to determine vine water status and especially water constraint. Pressure chamber allows a quick and easy to practice determination of water status in the vineyard. Three applications of pressure chamber are known: predawn leaf water potential (Ψ_B), leaf water potential (Ψ_F) and stem water potential (Ψ_T). Only Ψ_B and Ψ_F are widely used on vines. In this survey Ψ_B, Ψ_F, Ψ_T and transpiration flow were measured on mature leaves to determine non-irrigated vine water status in field grown vines during the growing season. In California as well as in France, stem Ψ was the most discriminating indicator for both moderate and severe water deficits. In every plot surveyed Ψ_T was much better correlated to leaf transpiration than Ψ_F. Moreover, Ψ_T revealed nascent water deficit earlier than Ψ_B did. Among the three application of pressure chamber, Ψ_T was the only one to indicate short term water deficit after a rainfall. Hence, Ψ_T appears to be a useful indicator for grapevine management in both non-irrigated and irrigated vineyards.

Key words : vine, terroir, water deficit, stem water potential, leaf water potential, transpiration.

Mot clés : vigne, terroir, déficit hydrique, potentiel tige, potentiel foliaire, transpiration.

INTRODUCTION

Dans le règne végétal, le déficit hydrique est à l'origine de réponses physiologiques variées, telles que la régulation stomatique et la réduction de la croissance végétative. La plante met en œuvre ces mécanismes pour économiser l'eau. Il en résulte une diminution de la productivité globale de la plante (HSIAO, 1973). Pour les cépages rouges, le déficit hydrique modéré (celui n'entraînant pas la chute des feuilles) est un facteur de qualité. L'occurrence de déficits hydriques modérés après la floraison est un facteur qui accroît le potentiel œnologique de la récolte (SEGUIN, 1970 ; MATTHEWS *et al.*, 1990 ; VAN LEEUWEN et SEGUIN, 1994 ; OJEDA *et al.*, 1999 ; KOUNDURAS *et al.*, 1999 ; CHONE *et al.*, 2001a). Il permet d'expliquer une importante part de l'effet « terroir » (SEGUIN,

*Auteurs pour correspondance :
xavier.chone@œnologie.u-bordeaux2.fr
k-van-leeuwen@enitab.fr

J. Int. Sci. Vigne Vin, 2000, **34**, n°4, 169-176
©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

1986). Le terroir s'entend ici comme la combinaison des conditions pédoclimatiques (sol et climat) avec les composantes de la vigne telles que le cépage, le clone, le porte-greffe et les techniques viticoles (système de taille, surface foliaire…).

De nombreux facteurs influent sur l'état hydrique de la vigne : la profondeur de sol explorée par les racines, le mésoclimat (climat de la parcelle), le porte-greffe, le cépage, la surface foliaire, le rendement, l'enherbement…

Le fonctionnement hydrique de la vigne peut être apprécié par des méthodes extérieures à la plante, faisant intervenir l'état et la quantité de l'eau dans le sol (tensiomètre, sonde à neutrons) et la demande en eau de l'atmosphère (bilan hydrique théorique…). Il peut aussi être mesuré par des indicateurs physiologiques déterminés sur un organe ou un tissu végétal (potentiel hydrique mesuré par la chambre à pression ou par le psychromètre, potentiel osmotique, porométrie, micromorphométrie…).

Le modèle du continuum-sol-plante-atmosphère (CSPA) est principalement basé sur la théorie que l'eau doit subir des conditions de tension pour être conduite à travers le xylème de la plante. Le modèle CSPA permet d'expliquer l'apparition de déficits hydriques sur le trajet allant des racines aux feuilles. Le déplacement de l'eau à travers le continuum sol-plante-atmosphère suit schématiquement 4 étapes : du sol aux racines, des racines au xylème de la tige, de la tige à la feuille par le pétiole et de la feuille à l'atmosphère par les stomates. L'état hydrique moyen de la plante dépend de l'état hydrique des horizons du sol explorés par les racines, de la dimension du couvert végétal, des résistances internes de la plante et de la demande évaporative.

Dans la plante, les déficits hydriques apparaissent pour ajuster les flux de sève dans le xylème au niveau de transpiration des feuilles, selon la disponibilité de l'eau dans le sol. Ainsi, la plante peut être considérée comme une interface hydrique entre le sol et l'atmosphère. Par conséquent, les indicateurs physiologiques sont très appropriés pour renseigner sur l'état hydrique de la vigne.

Pour déterminer l'influence des conditions environnementales et culturales sur l'état hydrique de la vigne, un indicateur physiologique précis est nécessaire. La chambre à pression (SCHOLANDER *et al.*, 1965) est un outil robuste pour déterminer l'état hydrique de la vigne au champ. Elle peut fournir des valeurs de potentiel foliaire de base (Ψ_B), de potentiel foliaire (Ψ_F) et de potentiel tige (Ψ_T).

Le Ψ_B mesure l'état hydrique de la plante en fin de nuit quand les flux de sève sont pratiquement nuls. Cette mesure informe sur l'état hydrique du sol dans l'environnement des racines. En effet, en fin de nuit l'état hydrique de la plante est considéré en équilibre avec l'état hydrique du sol exploré par le système racinaire (KATERJI et HALLAIRE, 1984).

Le Ψ_B mesuré au cours de la journée sur une feuille reflète une combinaison de plusieurs facteurs : demande hydrique particulière à cette feuille liée à son microclimat (déficit de pression de vapeur, rayonnement intercepté par la feuille), disponibilité en eau du sol, conductivité hydraulique interne de la plante et régulation stomatique.

Le Ψ_T est mesuré pendant la journée sur une feuille qui ne transpire pas grâce à l'ensachage préalable (BEGG et TURNER, 1970). L'état hydrique de la feuille s'équilibre avec celui du rameau et constitue le potentiel tige (Ψ_T). Ce dernier dépend de la transpiration globale de la plante, de la disponibilité de l'eau dans le sol, de la conductivité hydraulique du sol et de l'interface sol/racines. Le Ψ_T renseigne sur la capacité de la plante à conduire l'eau du sol à l'atmosphère. Il a été utilisé avec succès comme un indicateur de déficit hydrique sur des vergers de pêchers et de pruniers (GARNIER et BERGER, 1985 ; MAC CUTCHAN et SCHACKEL, 1992). Sur vigne, des mesures du Ψ_T sont mentionnées aux Etats-Unis et en Israël (LIU *et al.*, 1978 ; GREENSPAN *et al.*, 1996 ; NAOR, 1998).

Curieusement, aucun de ces travaux ne compare l'intérêt des trois applications de la chambre à pression pour évaluer l'état hydrique de la vigne. Nous présentons ici cette comparaison à partir de mesures réalisées au cours des mêmes journées sur les mêmes ceps. Simultanément des mesures de la transpiration (porométrie) ont été effectuées.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I - PARCELLES EXPÉRIMENTALES

Les mesures de potentiel hydrique et de la transpiration ont été réalisées dans 6 parcelles représentatives de 5 appellations distinctes : Entre-deux-Mers, Premières Côtes de Bordeaux, Pessac-Léognan, Haut-Médoc et Saint-Emilion (tableau 1). Quatre densités de plantations et quatre cépages ont été étudiés. Le vignoble de l'Entre Deux Mers est enherbé un interligne sur deux.

Chacune des 6 parcelles présente des sols et des profondeurs d'enracinement hétérogènes (données non présentées). Ainsi, avec un matériel végétal et des conditions mésoclimatiques identiques à l'intérieur d'une

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

TABLEAU I
Comparaison de la détermination de la transpiration par le potentiel tige avec la détermination de la transpiration par le potentiel foliaire

Table I - Comparison of the determination of transpiration by stem water potential and by leaf water potential

Appellation	Entre-deux-Mers	1ère Côtes de Bordeaux	Pessac Léognan	Haut Médoc	Saint-Émilion	Saint-Émilion
Cépage	Sauvignon blanc	Sauvignon blanc	Sauvignon blanc	Cabernet sauvignon	Merlot	Cabernet sauvignon
Porte-greffe	3309C	3309C	SO4	3309C	3309C	3309C
Age de plantation	15 ans	10 ans	30 ans	25 ans	24 ans	37 ans
Densité (ceps/ha)	3 300	5 000	9 000	9 000	6 000	6 000
Relation linéaire entre le potentiel tige et la transpiration	**R^2 = 0,89** n = 13 α = 0,01	**R^2 = 0,79** n = 27 α = 0,01	**R^2 = 0,73** n =35 α = 0,01	**R^2 = 0,70** n = 20 α = 0,01	**R^2 = 0,66** n = 29 α = 0,01	**R^2 = 0,49** n = 15 α = 0,01
Relation linéaire entre le potentiel foliaire et la transpiration	**R^2 = 0,39** n = 13 α = 0,05	**R^2 = 0,48** n =27 α = 0,01	**R^2 = 0,22** n = 35 α = 0,01	**R^2 = 0,24** n =20 α = 0,05	**R^2 = 0,50** n = 29 α = 0,01	**R^2 = 0,27** n = 15 α = 0,05
Dates des mesures	9 et 10/09/00	29 et 31/07/00	20/07/00 et 3/08/00	23/08/00	7 et 24/08/00	24/08/00
Période de mesure (heure solaire)	11:30 à 13:00	10:00 à 15:00	10:00 à 16:30	11:00 à 16:00	10:00 à 17:00	10:00 à 17:00
VPD à 12:00 (heure solaire)	3,1	3,2 et 3,3	3,3 et 3,4	3,4	3,1 et 3,4	3,4

Potentiel hydrique (MPa) ; Transpiration ($\mu g/cm^2/s$) ; DPV : déficit de pression de vapeur (kPa)

parcelle, différents niveaux de régime hydrique pouvaient apparaître lors de périodes estivales non pluvieuses. Par conséquent, à l'intérieur d'une parcelle et pour une même valeur de DPV (déficit de pression de vapeur) plusieurs valeurs de potentiel hydrique et de transpiration ont pu être mesurées.

II – MESURE DES POTENTIELS HYDRIQUES : TROIS APPLICATIONS DE LA CHAMBRE À PRESSION

Le Ψ_B, le Ψ_F et le Ψ_T ont été mesurés avec une chambre à pression (figure 1) SCHOLANDER *et al.*, (1965). Les chambres à pression utilisées disposent d'un régulateur de débit (permettant une montée en pression lente, régulière et adaptée à la situation) et d'un manomètre électronique d'une précision de 0,001 MPa (SAM Précis 2000, Gradignan, France). Les trois applications de la chambre à pression ont été réalisées sur des feuilles situées dans la moitié inférieure de rameaux primaires. Quelle que soit l'application, la feuille est séparée du rameau juste avant la mesure. La feuille est séparée manuellement du rameau par rupture du pétiole au niveau de son insertion sur le nœud. Ensuite, le pétiole est sectionné nettement (cutter, lame de rasoir) au niveau du renflement d'insertion sur le rameau, approximativement à un centimètre du point de fixation sur le rameau. La feuille ainsi préparée est enfermée dans le cylindre de la chambre dans lequel a été disposé un fragment d'ouate humide. Seul le pétiole émerge de l'orifice du joint torique placé sur le couvercle de la chambre à pression. L'opération allant de la rupture manuelle du pétiole jusqu'à la fermeture de la chambre a été effectuée dans un délai inférieur à 30 secondes. Après une montée en pression lente (TURNER et MURRAY, 1980) dans la chambre, le potentiel hydrique de l'organe est noté lors de l'apparition d'humidité sur les faisceaux ligneux de la section du pétiole. Cette valeur correspond à la pression dans la chambre au signe près.

1) Potentiel foliaire de base

Le Ψ_B a été mesuré à la fin de la nuit (période allant de deux heures avant l'aube à l'aube) sur des feuilles non ensachées.

2) Potentiel foliaire

Le Ψ_F a été mesuré au cours de la journée sur des feuilles exposées au soleil pendant une heure au moins avant la mesure.

3) Potentiel tige

Le Ψ_T a été mesuré sur des feuilles ensachées (dans une feuille plastique doublée d'une feuille d'aluminium) au moins une heure avant la mesure. L'ensachage imperméable et opaque entraîne la fermeture des

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

stomates : la feuille ainsi ensachée ne transpire plus. Par conséquent, le potentiel hydrique de cette feuille s'équilibre avec le potentiel hydrique du rameau, appelé le potentiel tige (BEGG et TURNER, 1970). Les feuilles à ensacher ont été choisies sur le coté ombragé du rang pour éviter un échauffement. L'ensachage de 3 feuilles de la base du même rameau 1, 2 et 6 heures avant la mesure (en milieu de journée) a produit les mêmes résultats (données non présentées). Par conséquent, un délai d'une heure apparaît suffisant pour que l'équilibre entre l'état hydrique de la feuille ensachée et l'état hydrique du rameau soit atteint.

Des mesures de potentiel tige ont été réalisées en milieu de journée sur deux feuilles primaires du même rameau : l'une située à la base du rameau, l'autre située dans la partie haute du rameau (approximativement distante d'un mètre de la feuille basale). La différence moyenne entre ces deux valeurs fait apparaître un très faible gradient de potentiel tige compris entre 0 et 0,05 MPa (données non présentées). Par conséquent,

TABLEAU IIa
Parcelles où le potentiel foliaire de base et le potentiel foliaire mesuré en milieu de journée ont été comparés sur deux sites différant par la profondeur du sol.

Table IIa - Plots where predawn leaf water potential and midday leaf water potential have been compared on two different locations varying by soil depth.

	Région	Château	Cépage	Porte-greffe	Age de plantation	Densité ceps/ha
Parcelle 1	Entre deux Mers	Turcaud	Sauvignon	3309C	9 ans	3300
Parcelle 2	1ères Côtes de Bordeaux	Reynon	Sauvignon	3309C	10 ans	5000
Parcelle 3	Pessac Léognan	Haut Brion	Sauvignon	S04	30 ans	9000
Parcelle 4	Haut Médoc	Latour	Cab. Sauvignon	3309C	25 ans	9000
Parcelle 5	Haut Médoc	Léoville Las Cases	Cab. Sauvignon	*Riparia* GM	20 ans	9000
Parcelle 6	Napa Valley	Dominus	Cab. Sauvignon	110 R	8 ans	2800
Parcelle 7	Napa Valley	Dominus	Cab. Sauvignon	*Rupestris* L	25 ans	2500

TABLEAU IIb
Comparaison de l'état hydrique de la vigne, mesuré par le potentiel foliaire de base et par le potentiel foliaire en milieu de journée, sur des sites différant par la profondeur du sol.

Table IIb - Comparison of vine water status measured by predawn leaf water potential and midday leaf water potential on various soil depth.

	Date de mesure	Épaisseur du sol	Ψ_B moyenne	Signification des écarts par paire	Ψ_F moyenne	Signification des écarts par paire	n
Parcelle 1	9/09/99	P	-0,13	a	-1,18	a	8
		S	-0,23	b	-1,27	a	8
Parcelle 2	23/07/00	P	-0,02	a	-0,70	a	8
		S	-0,10	b	-0,79	a	8
Parcelle 3	24/07/99	P	-0,12	a	-1,03	a	8
		S	-0,27	b	-1,07	a	8
Parcelle 4	23/08/00	P	-0,18	a	-1,29	a	6
		S	-0,30	b	-1,35	a	6
Parcelle 5	23/08/97	P	-0,15	a	-1,38	a	6
		S	-0,29	b	-1,34	a	6
Parcelle 6	11/08/98	P	-0,10	a	-1,23	a	8
		S	-0,15	b	-1,36	a	8
Parcelle 7	11/08/98	P	-0,12	a	-1,37	a	8
		S	-0,24	b	-1,33	a	8

Ψ_B : potentiel foliaire de base ; Ψ_F : potentiel foliaire en milieu de journée ; n = nombre de répétitions ; épaisseur de sol colonisée par les racines, P : profond ; S : superficiel

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

le gradient de potentiel tige sur des rameaux de vigne rognés a été considéré négligeable conformément aux travaux de LIU *et al.* (1978).

Le Ψ_T mesuré en milieu de journée (midi solaire) est appelé Ψ_T minimum. Il correspond à la période où la demande évaporative est la plus importante de la journée.

III - MESURE DE LA TRANSPIRATION DES FEUILLES (POROMÉTRIE)

Le flux de transpiration des feuilles a été mesuré avec un poromètre à état stable ou « steady state porometer » (LI-600, LI-COR, Lincoln, Nebraska 68504, USA). Les mesures de transpiration ont été conduites sur des feuilles ensoleillées pendant une heure au moins avant la mesure. Les mesures ont été réalisées en milieu de journée pour que la transpiration soit maximale : de 2 heures avant le zénith solaire à 3 heures après le zénith solaire.



Fig. 1 – Chambre à pression avec couvercle, sans bouteille d'azote.

Fig. 1 – Pressure chamber with cap beside, without nitrogen bottle.

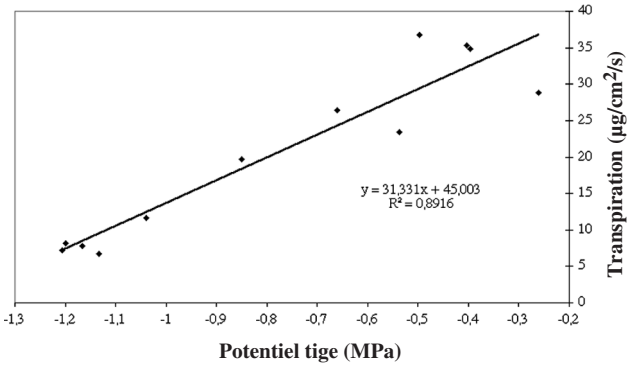


Fig. 2 – Relation entre le potentiel tige mesuré près du zénith solaire et la transpiration du feuillage.
Entre-deux-Mers, 9 et 10 septembre 2000. Chaque valeur est la moyenne de trois données mesurées simultanément sur le même cep.

Fig. 2 – Relationship between midday stem water potential and transpiration flow.
Bordeaux area : Entre-deux-Mers ; September 9th and 10th 2000. Data are means of 3 values collected simultaneously on the same vines.

Le poromètre indique l'humidité relative et la température de l'air. Ces deux variables nous ont permis de calculer le déficit de pression de vapeur pour chaque parcelle (tableau 1).

IV - COLLECTE SIMULTANÉE DES DONNÉES DU POTENTIEL TIGE, DU POTENTIEL FOLIAIRE ET DE LA TRANSPIRATION

L'étude des relations de la transpiration avec le Ψ_T et avec le Ψ_F a été conduite avec des valeurs collectées dans la période la plus chaude de la journée (tableau 1). Les poches couvrant les feuilles destinées à la mesure du Ψ_T ont été posées le matin 1 à 4 heures avant les mesures.

Nous disposions de deux chambres à pression pour réaliser simultanément la mesure du Ψ_F et du Ψ_T. Le Ψ_F a été mesuré immédiatement après le relevé de la transpiration d'une feuille.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I – COMPARAISON DU POTENTIEL FOLIAIRE (Ψ_F) ET DU POTENTIEL TIGE (Ψ_T) COMME INDICATEUR DE DÉFICITS HYDRIQUES

La transpiration est une des premières fonctions de la plante affectée par un déficit hydrique. Par conséquent, un indicateur pertinent de l'état hydrique de la vigne doit représenter les flux de transpiration du feuillage. Dans cette étude les relations du Ψ_F et du Ψ_T avec la transpiration ont été établies simultanément pour 4 cépages dans 6 parcelles. Dans tous les cas étudiés, la transpiration est plus fortement corrélée avec le Ψ_T qu'avec le Ψ_F. Le coefficient de détermination (R^2) de la relation linéaire entre le Ψ_T et la transpiration est supérieur de 0,16 à 0,51 à celui de la relation linéaire entre le Ψ_F et la transpiration (tableau 1, figures 2 et 3). La corrélation linéaire du Ψ_T avec la transpiration est hautement significative, dans tous les cas a = 0,01 (tableau 1). En revanche, pour 3 parcelles sur 6, la corrélation linéaire du Ψ_F avec la transpiration est moins significative, $\alpha = 0,05$ (tableau 1).

Sur deux sols d'une même parcelle différant par leur profondeur, le Ψ_T et le Ψ_F indiquent des différences d'état hydrique de la vigne en milieu de journée (figure 4). Sur le sol superficiel l'état hydrique de la vigne est plus limitant que sur le sol profond, ce qui se traduit par des potentiels hydriques plus fortement négatifs. Cependant, le Ψ_T montre des écarts d'état hydrique importants et hautement significatifs, tandis

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

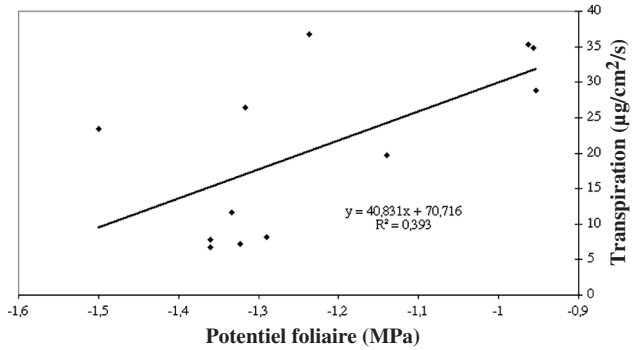


Fig. 3 – Relation entre le potentiel foliaire mesuré près du zénith solaire et la transpiration du feuillage.
Entre Deux Mers, 9 et 10 septembre 2000. Chaque valeur est la moyenne de trois données mesurées simultanément sur le même cep.

Fig. 3 – Relationship between midday leaf water potential and transpiration flow.
Bordeaux area : Entre-deux-Mers ; September 9th and 10th 2000. Data are means of 3 values collected simultaneously on the same vines.

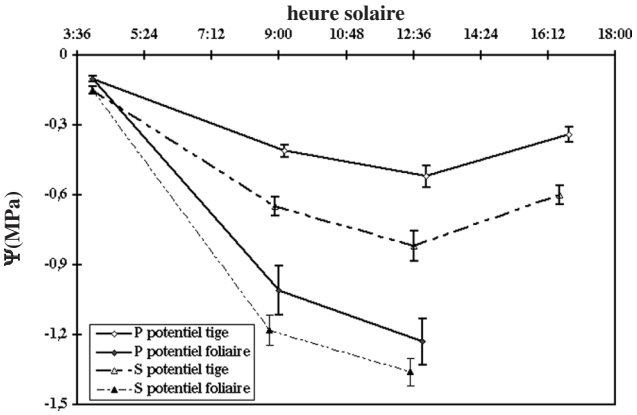


Fig. 4 – Évolution du potentiel tige et du potentiel foliaire au cours de la journée (11 août 1998).
Chaque valeur est la moyenne de 8 répétitions mesurées sur 8 ceps voisins. Les bars d'erreurs indiquent l'écart type. La profondeur d'enracinement est de 4 m sur « P » et de 2 m sur « S ». La vigne étudiée est du Cabernet Sauvignon non irrigué, greffé sur 110 R, âgé de 8 ans (Dominus Estate, Yountville, Napa Valley).

Fig. 4 - Stem Ψ and leaf Ψ diurnals (August 11th 1998).
Data are means of 8 measurements collected on 8 adjacent vines. Error bars indicate SE. Root zone depth was 4 m on « P » and 2 m on "S". Non irrigated Cabernet Sauvignon grafted on 110R, 8 years old (Dominus Estate, Yountville, Napa Valley, Californie)

que le Ψ_F montre des écarts plus faibles et non significatifs (figure 4).

Ces résultats démontrent que le Ψ_T est un indicateur plus précis de l'état hydrique de la vigne que le Ψ_F. Au moins deux raisons permettent d'expliquer cette plus grande précision du Ψ_T. Les mesures du Ψ_T d'une feuille à l'autre d'un même cep sont beaucoup moins variables que celles du Ψ_F dans les mêmes conditions (CHONE *et al.*, 2001b). En effet, le potentiel foliaire peut présenter une forte instabilité lorsqu'il est mesuré sur des feuilles transpirant fortement (TURNER et MURRAY, 1980). Par ailleurs, il apparaît que le Ψ_T reflète la conductivité hydraulique du tronc et des rameaux chez les lianes (CHONE *et al.*, 2001b). Selon la théorie du SPAC, les flux de transpiration des feuilles dépendent de la conductivité hydraulique dans le tronc et les rameaux. Par conséquent, le Ψ_T représente l'état hydrique global de la vigne, tandis que le Ψ_F représente l'état hydrique d'une seule feuille.

II – COMPARAISON DU POTENTIEL FOLIAIRE (Ψ_F) ET DU POTENTIEL FOLIAIRE DE BASE (Ψ_B) COMME INDICATEUR DE DÉFICITS HYDRIQUES

L'état hydrique de la vigne sur deux sols différant par leur profondeur à l'intérieur d'une même parcelle a été comparé à l'aide du Ψ_F et du Ψ_B. Quand le Ψ_B ne montre pas de différence d'état hydrique entre les deux sols, il en est de même pour le Ψ_F (données non présentées). L'inverse n'est pas vrai. Le Ψ_B peut indiquer des différences significatives d'état hydrique, tandis que le Ψ_F en milieu de journée (de 12 à 14 heures, heure solaire) n'indique pas de différence (tableaux IIa et IIb). Par conséquent, le Ψ_B est un indicateur plus précis de l'état hydrique de la vigne que le Ψ_F.

III – COMPARAISON DU POTENTIEL TIGE (Ψ_T) ET DU POTENTIEL FOLIAIRE DE BASE (Ψ_B) COMME INDICATEUR DE DÉFICITS HYDRIQUES

L'état hydrique de la vigne a été suivi avec le Ψ_B et le Ψ_T minimum sur deux sols d'une même parcelle pendant une période sans précipitation (du 3 juin au 27 juillet 1999). Au début du mois de juin, l'état hydrique des sols était considéré à la capacité au champ après les précipitations hivernales et printanières. Du 18 juin au 17 juillet, le Ψ_B reste relativement constant sur les deux sols, les différences sont faibles et le plus souvent non significatives (figure 5). Contrairement au Ψ_B, pendant cette même période le Ψ_T minimum indique des différences d'état hydrique importantes et statistiquement significatives entre les deux sols. Du 17 au 26 juillet, le Ψ_B du sol superficiel chute brusquement. À ce stade de dessèchement des sols, le Ψ_B comme le Ψ_T indiquent des différences hautement significatives d'état hydrique entre les deux sites. Les mesures de potentiel hydrique du 30 juillet suivent des précipitations importantes (60 mm) intervenues le 27 et le 28 juillet. Après les précipitations, le Ψ_B sur les deux sols est identique, tandis que le Ψ_T minimum présente encore des différences importantes entre les deux sites (figure 5). Sur le sol superficiel, la vigne subit toujours une nette contrainte hydrique après les précipitations. Le Ψ_T minimum mesuré dans les mêmes conditions de DPV avant et après les pluies (le 26 et le 30 juillet, données non présentées) n'indique pas de différence significative.

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

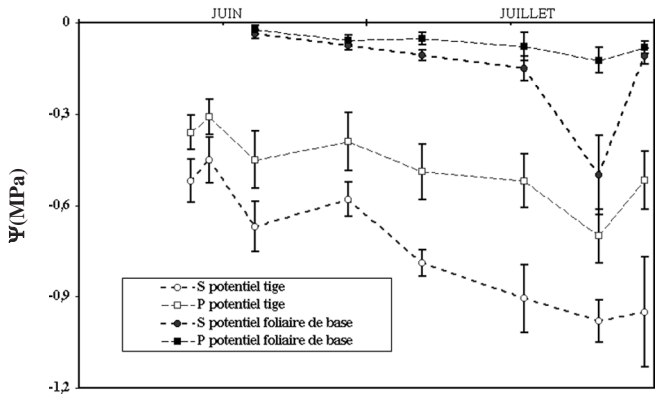


Fig. 5 – Evolution saisonnière du potentiel tige et du potentiel foliaire de base sur un sol superficiel et un sol profond (respectivement « S » et « P ») d'une même parcelle pendant une période de sécheresse en 1999.
Vignoble de Pessac Léognan, Sauvignon blanc greffé sur SO4 et âgé de 30 ans. Chaque valeur est la moyenne de 8 répétitions mesurées sur 8 ceps voisins. Les bars d'erreurs indiquent l'écart type.

Fig. 5 - Seasonal dawn Ψ and midday stem Ψ measured on a shallow and deep soils (respectively « S » and « P ») within the same plot through a drought period during year 1999.
Bordeaux area: Pessac Léognan. Sauvignon blanc grafted on SO4, 30 years old. Data are means of 8 measurements collected on 8 adjacent vines. Error bars indicate SE.

Par ailleurs, en considérant uniquement l'évolution du Ψ_B et du Ψ_T sur le sol superficiel lors de l'apparition de la contrainte hydrique (du 15 juin au 20 juillet), on remarque d'une date de mesure à une autre des variations significatives du Ψ_T sans variation du Ψ_B (figure 5). Nous disposons de nombreux autres exemples de cette évolution dissociée du Ψ_B et du Ψ_T (données non présentées).

Cette expérience menée en plein champ pendant l'apparition d'une contrainte hydrique montre que le Ψ_T minimum peut indiquer beaucoup plus précocement un déficit hydrique que le Ψ_B. Elle confirme les résultats de la figure 3 obtenus en Californie. Par conséquent, le Ψ_T minimum est un indicateur plus précis que le Ψ_B pour étudier les déficits hydriques naissants et les déficits hydriques pouvant persister après des précipitations.

Pour expliquer la plus grande précision du Ψ_T minimum par rapport au Ψ_B, il faut considérer les sols en cours de dessèchement ou les sols partiellement réhumectés après des précipitations comme des sols à humidité hétérogène.

Sur des sols à humidité hétérogène, le Ψ_B a tendance à s'équilibrer avec l'horizon le plus humide exploré par le système racinaire, selon les plantes étudiées (AMEGLIO et ARCHER, 1996). Dans ce cas, le Ψ_B est insensible à de larges variations d'humidité du sol. Le Ψ_B baissera significativement seulement lorsque les zones les plus humides du sol s'assécheront (AMEGLIO et ARCHER, 1996). Le comportement du Ψ_B sur le sol superficiel du 20 au 26 juillet (figure 5) correspond à ce type de fonctionnement. Par ailleurs, après les précipitations, les valeurs du Ψ_B et du Ψ_T minimum sur le sol superficiel (figure 5) traduisent une réhumectation partielle de ce sol.

Ainsi, dans un sol à humidité hétérogène, après une nuit en l'absence de transpiration, l'état hydrique de la vigne peut s'équilibrer avec l'état hydrique des horizons les plus humides. En revanche, la journée suivante, pendant la période encadrant le midi solaire, lorsque la transpiration globale du feuillage excède l'absorption des racines, un déficit hydrique de plusieurs heures apparaît. Seul le Ψ_T minimum peut rendre compte de cette contrainte hydrique diurne momentanée. Ce phénomène explique principalement la plus grande sensibilité du Ψ_T minimum sur le Ψ_B pour mettre en évidence les déficits hydriques modérés de la vigne.

CONCLUSION

Les déficits hydriques modérés (ceux n'entraînant pas la chute des feuilles) ont des effets œnologiques positifs sur la taille des baies et sur la maturation des raisins. Les mesures de potentiel hydrique par la chambre à pression sont les indicateurs du régime hydrique les moins chers et les plus faciles à mettre en œuvre dans un vignoble. Nos travaux montrent que le Ψ_T est l'indicateur le plus robuste et le plus puissant pour déterminer les déficits hydriques et les gérer à bon escient.

Lorsqu'une contrainte hydrique apparaît dans un vignoble, le premier indicateur pouvant montrer ce déficit est le Ψ_T minimum, suivi du Ψ_B. Dans ce cas, le Ψ_F mesuré lors du midi solaire est le moins adapté.

La bonne corrélation du Ψ_T avec la transpiration, son aptitude à refléter les flux de sève à travers le tronc et les rameaux de la vigne explique sa plus grande précision.

En permettant la détection précoce de l'apparition des contraintes hydriques et la mesure de contrainte hydrique résiduelle après des pluies, le Ψ_T amènera une meilleure compréhension de l'influence des déficits hydriques modérés de la vigne sur la constitution des baies. Par conséquent, le Ψ_T est un outil essentiel dans l'étude des terroirs, particulièrement dans les régions où des pluies peuvent apparaître de la floraison à la récolte.

La plus grande précision du Ψ_T, son aptitude à détecter les déficits hydriques précocement, sa capacité à déterminer des contraintes hydriques résiduelles après les pluies et son application diurne l'amèneront

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

à remplacer le Ψ_B et le Ψ_F pour la gestion raisonnée de l'irrigation des vignobles. Pour cela, des bases de données spécifiques d'un terroir et des seuils de la contrainte hydrique favorable à l'accroissement du potentiel œnologique de la vendange devront être établis.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AMEGLIO T. et ARCHER P., 1996. Représentativité du potentiel de base sur sols à humidité hétérogène. *Agronomie*, **16**, 493-503.

BEGG J.E. and TURNER N.C., 1970. Water potential gradients in field tobacco. *Plant Physiology*, **46**, 343-346.

CHONE X., VAN LEEUWEN C., CHERY P. and RIBÉREAU GAYON P., 2001a. Terroir influence on water status and nitrogen status of non irrigated Cabernet-Sauvignon (*Vitis vinifera*). Vegetative development, must and wine composition (Example of a Medoc Second Growth vineyard, Saint-Julien area, Bordeaux, 1997). *S. Af. J. Enol. Vitic.*, accepté pour publication, **22**, n°1, May 2001).

CHONE X., VAN LEEUWEN C. and GAUDILLERE J.P., 2001b. Stem water potential is a sensitive indicator for grapevine water status. *Annals of botany*. Accepté pour publication (janvier ou février 2001).

GARNIER E. and BERGER A., 1985. Testing water potential in peach trees as an indicator of water stress. *J. Hortic. Sci.*, **60**, 47-56.

GREENSPAN M., SCHULTZ H. and MATTHEWS M.A., 1996. Field evaluation of water transport in grape berries during water deficits. *Physiologia Plantarum*, **97**, 55-62.

HSIAO T.C., 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review Plant Physiology*, **24**, 519-570.

KATERJI N. et HALLAIRE M., 1984. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. *Agronomie*, **4**, 10, 999-1008.

KOUNDOURAS S., VAN LEEUWEN C., SEGUIN G. et GLORIES Y., 1999. Influence de l'alimentation en eau sur la croissance de la vigne, la maturation des raisins et les caractéristiques des vins en zone méditerranéenne (exemple de Némée, Grèce, cépage Saint Georges, 1997). *J. Inter. Sci. Vigne Vin*, **33**, 149-160.

LIU W.T., WENKART W., ALLEN L.H. and LEMON E.R., 1978 . Soil-Plant-Water relations in a New York vineyard : resistances to water movement. *J. American Society Hortic. Sci.*, **103**, 226-230.

MAC CUTCHAN H. and SHACKEL K.A., 1992. Stem water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees. *J. American Society Hortic. Sci.,* **117**, 607-611.

MATTHEWS M.A., ISHII R., ANDERSON M.M. and O' MAHONY M., 1990. Dependence of wine sensory attributes on vine water status. *J. Sci. Food Agric.*, **51**, 321-335.

NAOR A., 1998. Relations between leaf and stem water potentials and stomatal conductance in three field-grown woody species. *J. Hortic. Sci .Biotechnology*, **73**, 431-436.

OJEDA H., DELOIRE A., CARBONNEAU A., AGEORGES A. and ROMIEU C., 1999. Berry development of grapevines : Relations between the growth of berries and their DNA content indicate cell multiplication and enlargement. *Vitis*, **38**, 145-150.

SCHOLANDER P.F., HAMMEL H.J., BRADSTREET A. and HEMMINGSEN E.A., 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, **148**, 339-346.

SEGUIN G., 1970. Les sols des vignobles du Haut-Médoc. Influence sur l'alimentation en eau de la vigne et sur la maturation du raisin. *Thèse de doctorat d'état*, Faculté des Sciences, Université de Bordeaux.

SEGUIN G., 1986. « Terroirs » and pedology of wine growing. Experientia, **42**, 861-873.

TURNER N.C. and MURRAY J.L., 1980. Errors arising from rapid water loss in the measurement of leaf water potential by the pressure chamber technique. *Aust. J. Plant. Physiol.*, **7**, 527-537.

VAN LEEUWEN C. et 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. *J. Inter. Sci. Vigne Vin*, **28**, 81-110.

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)