# RÉPONSE DES POTENTIELS HYDRIQUES DE LA FEUILLE ET DU XYLÈME COMME INDICATEURS DE L'ÉTAT HYDRIQUE DE LA VIGNE, CÉPAGE TEMPRANILLO, SOUMIS À DIFFÉRENTS RÉGIMES HYDRIQUES DANS LA VALLÉE DU DOURO

## LEAF AND STEM WATER POTENTIAL AS VINE WATER STATUS INDICATORS, IN TEMPRANILLO GRAPEVINE, UNDER DIFFERENT WATER REGIMES IN THE DUERO VALLEY

YUSTE J., GUTIERREZ I., RUBIO J.A. et ALBURQUERQUE M.V.

Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León
Valladolid (Espagne)

**Résumé** : La mesure du potentiel hydrique des ceps s'utilise pour déterminer l'état hydrique de la vigne en relation avec les réserves en eau du sol. Ce travail a pour but d'évaluer le comportement de cet indicateur utile et relativement facile à utiliser par le biais de mesure réalisée à partir de feuilles. L'essai mené avec des doses d'arrosage et des densités de plantation différentes montre que la différence entre le potentiel hydrique de la feuille et le potentiel hydrique du «xylème» (i.e. feuille «ensachée») est moins importante au fur et à mesure que le cycle végétatif avance. Les valeurs du potentiel hydrique du «xylème» apparaissent significativement supérieures à celles du potentiel hydrique de la feuille lors des mesures effectuées à midi, heure solaire. Le potentiel hydrique foliaire est une mesure plus facile à réaliser, tandis que le potentiel du «xylème» a permis de mieux apprécier les différences entre traitements lorsque celles-ci n'étaient pas très importantes.

**Abstract**: Attempts have been made to determine the water status of vineyards using different methods, with variable results according to the different authors. Therefore, various methods have been used to estimate soil humidity (TDR, tensiometer, neutron probe, etc.) and the water status of the plant (dendrometer, porometer, leaf water potential, xylem water potential, etc.). The leaf water potential measured with leaf and «bagged» leaf, which are subjected to comparison in this report, are two useful and simple methods for finding out the water status of the vines, based on the use of a simple instrument that is acceptably available in economic terms, the pressure chamber.

The trial was performed at an experimental Tempranillo vineyard in which the main source of variation was the watering regime (no irrigation, 20 % ETo irrigation, 40 % ETo irrigation) and in which a change in planting density was also included (low, 2.7x1.4 m; high, 2.2x1.5 m). The resulting experimental treatments were: B00 (low density and no irrigation), B20 (low density and 20 % ETo), H20 (high density and 20 % ETo) and H40 (high density and 40 % ETo). The total amount of water applied to the treatments with the lesser irrigation rate (0.2 ETo mm) was equal to 61 mm and to the treatment with the higher irrigation rate (0.4 ETo mm) was equal to 122 mm, up to the week of August 29, 2002. The measurements of Ψf were performed before dawn (aa) on June 14, at solar noon (12:00 p.m.) on July 19 and 26 and on August 29, 2002, on adult leaves located in the middle zone of the shoot, above the height of the clusters, on the eastern face of the trellised vines. Ψx was measured at 6:00 a.m. on June 14 and at solar noon (12:00 p.m.) on July 19 and 26 and on August 29, 2002, also on adult leaves in the middle zone of the shoot, above the zone of the clusters, leaves located on the western face of the trellised vines and therefore shaded, and covered at least one hour prior to taking the measurement.

The relationship between the water potential of the leaf and that of the «bagged» leaf has proven to draw closer as the cycle has advanced and the vines have been more stressed, in such a way that the best relationship between the two indicators was obtained in the measurement performed at the end of the month of August. When the water differences are very notable, both indicators are able to show the water status of the vineyard expected in accordance with the rate of irrigation applied.

The measurement of water potential of the leaf has been easier to take, because it is not necessary to cover the leaves prior to taking the measurement (except in the measurement before dawn, in which case one must be in the vineyard at an unpleasant hour). However, using the potential of the xylem it has been possible to make better observations of the differences between treatments, when these differences are not very important.

**Mots clés** : chambre de pression, irrigation, Tempranillo

**Key words** : irrigation, pressure bomb, Tempranillo

*Corresponding author: albotema@jcyl.es



*J. Int. Sci. Vigne Vin*, 2004, **38**, n°1, 21-26

©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

## INTRODUCTION

Plusieurs techniques de mesure de l'état hydrique du vignoble ont été comparées dans plusieurs régions du monde. Le vignoble est cultivé dans la région de Castille-Léon dans des conditions de climat semi-aride, avec une pluviométrie faible – environ 400 mm par an – ce qui oblige dans la plupart des cas à apporter aux ceps une certaine quantité d'eau afin de limiter le stress hydrique. Dans ce sens, il est nécessaire de connaître non seulement les moments adéquats de cette alimentation en eau, mais aussi la quantité à apporter (SMART, 2001). Afin de pouvoir répondre à ces questions, on a utilisé plusieurs méthodes d'évaluation de l'humidité du sol (TDR, tensiomètres, sonde de neutrons, etc.) et de l'état hydrique de la plante (dendromètres, poromètres, potentiel hydrique foliaire, potentiel hydrique du «xylème», etc.).

Le potentiel hydrique foliaire mesuré au niveau de la feuille est le reflet de la combinaison de la demande hydrique de la feuille, l'eau disponible dans le sol, la conductivité hydraulique interne de la plante et la régulation stomatique (CHONE *et al.*, 2001). D'après VAN LEEUWEN *et al.* (2001), dans les conditions établies par un sol en culture sèche, les stomates fermés des feuilles ont tendance à conserver le potentiel hydrique foliaire à midi de manière constante afin d'éviter des pertes d'eau sévères. Par ailleurs, la régulation de la croissance du xylème peut contribuer à la résistance des plants de vigne à la sécheresse, car la conductivité du xylème est déterminée par l'efficacité et la taille des vaisseaux (LOVISOLO *et al.*, 2000). En outre, cette régulation peut permettre de mieux supporter des situations de faible disponibilité en eau dans le sol.

Le potentiel hydrique du «xylème» se mesure sur la base de feuilles qui ne transpirent pas pendant au moins une heure avant de prendre les mesures car, lorsque les feuilles ne transpirent pas, leur potentiel correspond à celui de la tige (VAN LEEUWEN *et al.*, 2001). La valeur de ce potentiel ne dépend pas seulement de l'état de la feuille mais, selon VAN LEEUWEN *et al.* (2001), elle indique l'état hydrique de l'ensemble de la plante. Celui-ci est le résultat de la combinaison du contenu en eau au niveau du sol, de la surface foliaire et de la demande évaporative de la plante.

Ce travail a pour objectif de comparer deux méthodes utiles et simples qui permettent de mesurer l'état hydrique des plants de vigne : le potentiel hydrique de la feuille et le potentiel hydrique de la feuille « ensachée ». Ces méthodes consistent à employer un instrument simple et d'un coût économique acceptable : la chambre à pression (SCHOLANDER *et al.*, 1965). L'estimation de l'état hydrique avec la méthode la plus appropriée a pour but l'amélioration de l'arrosage du vignoble. Parallèlement, il s'agit de vérifier par le biais du potentiel hydrique les différences causées par divers niveaux d'arrosage sur l'état hydrique de la vigne.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le potentiel hydrique foliaire ($\Psi f$) et le potentiel hydrique du «xylème» ($\Psi x$) ont été mesurés à l'aide d'une chambre de pression de type Scholander, de marque ARIMAD-2. Le manomètre de la chambre est d'une précision de 0,01 MPa (0,1 bar).

L'essai d'évaluation des méthodes de mesure du potentiel hydrique est un essai de type factoriel double où le facteur principal est la densité de plantation et, le facteur secondaire, le régime hydrique, avec 4 blocs au hasard et des parcelles élémentaires de 27 ceps de basse densité et de 33 ceps de haute densité. Les traitements, différenciés selon la dose d'arrosage et la densité de plantation, sont les suivants: 0,0 ETo (sans arrosage), 0,2 ETo et 0,4 ETo. Les densités ont été de 2,7x1,4 m pour la basse densité et de 2,2x1,15 m pour la haute densité, tout en conservant dans les deux cas le même nombre d'yeux par hectare. Ainsi, les traitements de l'essai général sont nommés de la manière suivante : B00 (basse densité sans arrosage), B20 (basse densité et 0,2 ETo), H20 (haute densité et 0,2 ETo) et H40 (haute densité et 0,4 ETo).

Quant aux mesures des potentiels hydriques, celles ont été effectuées sur les 4 traitements décrits avec 6 répétitions.

Les mesures du $\Psi f$ ont été prises aux moments suivants: avant le lever du jour (aa) le 14 juin et à midi heure solaire (12 h) les 19 et 26 juillet et le 29 août 2002, sur des feuilles adultes ensoleillées, situées dans la zone médiane de la tige, au-dessus des grappes et sur la face Est des ceps.

Le $\Psi x$ a été mesuré à 6 heures le 14 juin et à midi heure solaire (12 h) les 19 et 26 juillet et le 29 août 2002, sur des feuilles adultes également dans la zone médiane de la tige, au-dessus de la zone des grappes, sur la face Ouest des ceps, donc à l'ombre. Les feuilles ont été ensachées une heure avant de prendre les mesures.

La méthode de mesure du potential hydrique foliaire a été décrite par plusieurs auteurs : la pression appliquée sur la feuille est égale à la tension négative avec laquelle l'eau est retenue à l'intérieur de la feuille avant d'être coupée (SANCHEZ-DIAZ et AGUIRREOLEA, 2000).


©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

La mesure du Ψx a été effectuée selon deux méthodes différentes, l'une ayant été utilisée les 14 juin et 19 et 26 juillet et l'autre le 29 août. On a sélectionné des feuilles possédant les mêmes caractéristiques que celles choisies pour le Ψf. La première méthode consiste à couvrir directement les feuilles avec un sachet en aluminium, au moins une heure avant de prendre les mesures. La partie supérieure des sachets est fermée à l'aide de petites agrafes en ne laissant libre que l'espace occupé par le pétiole. Au moment de prendre les mesures, chaque feuille est coupée du cep de la même manière que celles du Ψf , est amenée immédiatement dans la chambre de pression pour la mesure après l'avoir retirée du sachet en aluminium et introduite dans un sachet en plastique. La deuxième manière de procéder, utilisée pour les mesures du 29 août, consiste à couvrir les feuilles avec un sachet en plastique dont on ferme ensuite l'extrémité supérieure à l'aide d'un fil de fer plastifié resserrant le pétiole. Ce sachet est ensuite recouvert par un autre sachet en aluminium afin de protéger la feuille de la lumière et l'extrémité supérieure de ce sachet se ferme de la même manière que dans la première méthode. De cette manière, les feuilles sont restées couvertes jusqu'au moment de prendre les mesures, au moins pendant une heure. Les feuilles sont séparées du cep et amenées dans la chambre à pression de la manière décrite pour le Ψf. Une fois sur place, on retire le papier aluminium et on introduit la feuille qui est toujours dans le sachet en plastique dans la chambre. La raison pour laquelle on n'a pas introduit la feuille dans la chambre avec son sachet en aluminium réside dans le manque d'espace de l'habitacle de la chambre de pression.

Les résultats mis en parallèle de la mesure du potentiel hydrique foliaire (Ψf) et du potentiel hydrique du «xylème» (Ψx) correspondent aux dates et heures exposés dans le tableau I.

La quantité totale d'eau appliquée aux traitements avec une dose d'arrosage plus faible (0,2 ETo mm) a été de 61 mm et le traitement avec une dose d'arrosage plus importante (0,4 ETo mm) a été de 122 mm jusqu'à la semaine du 29 août 2002.

## RÉSULTATS

Les résultats obtenus pour la mesure du potentiel hydrique montrent des valeurs absolues plus élevées pour le Ψf que pour le Ψx dans les mesures à 12 h, tandis que, pour la mesure du matin effectuée au mois de juin, on observe la tendance contraire (figure 1).

Les différences observées entre les deux potentiels sont statistiquement significatives pour les mesures prises en juin et juillet, mais pas pour les mesures prises au mois d'août.

Le 14 juin, on a mesuré le Ψf avant le lever du jour et le Ψx à 6 h afin de comparer les valeurs du potentiel hydrique foliaire de base avec celles du potentiel hydrique du «xylème» à une heure où la mesure est plus aisée, quand il fait jour. Les valeurs absolues du

**Tableau I - Dates et heures de mesure du potentiel hydrique de la feuille (Ψf) et potentiel hydrique du xylème (Ψx).**

**Dates and hours of measurements of leaf (Ψf) and stem water potential (Ψx).**

| | 14 juin | 19 juillet | 26 juillet | 29 août |
|---|---|---|---|---|
| Ψf | aa | 12 h | 12 h | 12 h |
| Ψx | 6 h | 12 h | 12 h | 12 h |

**Tableau II - Valeurs de $R^2$ et niveaux de signification (N.S.) obtenus après régression linéaire entre la variable dépendante «potentiel hydrique du xylème» (Ψx) et la variable indépendante «potentiel hydrique de la feuille» (Ψf).**

Niveaux de signification statistique (N.S.) et probabilité (P) des analyses de variance : non significatif (ns) ; P< 0,05 (*) ; P< 0,01 (**).

**$R^2$ values and signification levels (N.S.) obtained through lineal regression between the dependant variable «stem water potential» (Ψx) and the independant variable «leaf water potential» (Ψf).**

Statistical signification levels (N.S.) and probability (P) of the variance analysis : no significant (ns) ; P< 0.05 (*) ; P<0.01 (**).

| | Ψx/Ψf | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 14 juin | 19 juillet | 26 juillet | 29 août |
| $R^2$ | 0,047 | 0,318 | 0,490 | 0,924 |
| P | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,065 |
| Ψx | 5,61 | 12,25 | 12,26 | 11,84 |
| Ψf | 3,54 | 14,27 | 15,69 | 13,80 |
| N.S. | ** | ** | ** | ns |


©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

potentiel hydrique du «xylème» (entre 0,5 et 0,6 MPa) ont été supérieures dans tous les cas au potentiel hydrique foliaire de base (entre 0,3 et 0,4 MPa). Les différences entre les deux potentiels sont statistiquement significatives (tableau II). En réalité, la mesure du potentiel du «xylème» est un indicateur du potentiel de la plante puisque la feuille s'équilibre avec le reste de la plante lorsque l'ensemble des feuilles a leurs stomates fonctionnels.

En ce qui concerne l'analyse des valeurs obtenues dans les traitements avec différentes doses d'arrosage, on ne constate pas de différences statistiquement significatives ni pour le Ψf ni pour le Ψx (tableau III) étant donné que, jusqu'à la date du 14 juin, les vignes de ces essais n'ont pas été arrosés afin de l'être ensuite avec les doses de 0,0 ETo, 0,2 ETo et 0,4 ETo.

Le 19 juillet, on a mesuré les deux potentiels (de la feuille et du «xylème») à 12 heures. Les valeurs absolues du potentiel foliaire sont supérieures à celles du potentiel du «xylème». Les valeurs du Ψx se situent entre -1,1 et -1,3 MPa et celles du Ψf entre -1,3 et -1,5 MPa. Ceci s'explique par le fait que les feuilles adultes mesurées pour connaître le Ψx ont été couvertes et mises à l'ombre au moins une heure avant de prendre les mesures tandis que celles utilisées pour le Ψf ont été exposées au soleil. Les différences entre Ψf et Ψx sont statistiquement significatives à 1 % (tableau II).

Quant aux traitements avec les différentes doses d'arrosage, les différences entre les doses de 0,0 ETo et 0,2 ETo et entre celles de 0,2 ETo et 0,4 ETo sont statistiquement significatives tant pour le Ψf que pour le Ψx. Les différences entre les traitements de densité de plantation soumis tous deux à un arrosage de 0,2 ETo ne sont pas statistiquement significatives pour les 2 paramètres mesurés (tableau III).

Le 26 juillet, on a mesuré les potentiels de la feuille et du «xylème» à midi heure solaire. Les différences entre le Ψx et le Ψf sont statistiquement significatives. Les valeurs absolues sont plus élevées pour le Ψf - entre -1,4 et -1,6 MPa - que pour le Ψx - entre -1,0 et -1,4 MPa.

L'analyse des traitements différenciés selon l'arrosage montre que ceux à qui on apporté une quantité d´eau plus importante présentent un comportement différent de ceux ayant une dose d'arrosage plus réduite (0,0 ETo par rapport à 0,2 ETo et 0,2 ETo par rapport à 0,4 ETo). Les valeurs absolues de ces derniers sont plus élevées et présentent des différences numériques marquées, surtout pour le potentiel hydrique du «xylème». Les différences dans le Ψx sont statistiquement significatives entre les traitements avec doses

**Tableau III - Valeurs de potentiel (Ψ), probabilité (P) et niveaux de signification (N.S.) pour les potentiels hydriques de la feuille (Ψf) et du «xylème» (Ψx), après la comparaison par couples des traitements suivants, selon les différentes doses d'arrosage et la densité de plantation, le 14 juin, le 19 et le 26 juillet et le 29 août 2002.**

B00 : 0,0 ETo et basse densité ; B20 : 0,2 ETo et basse densité ; H20 : 0,2 ETo et haute densité ; H40 : 0,4 ETo et haute densité. Niveaux de signification statistique (N.S.) des analyses de variance : non significatif (ns) ; P< 0,05 (*) ; P< 0,01 (**).

**Values of potential (Ψ), probability (P) and signification levels (N.S.) for the leaf (Ψf) and stem (Ψx) water potential, after comparaison two by two between the following treatments, according to different irrigation doses and plant density, the 14 of June, the 19 and 26 of July and the 29 of August 2002.**

B00: 0.0 ETo and low density; B20: 0.2 ETo and low densiy; H20: 0.2 ETo and high density; H40: 0.4 ETo and high density. Statistical signification levels (N.S.) of the variance analysis: no significant (ns); P< 0.05 (*); P< 0.01 (**).

| | | Ψx | | | Ψf | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B00/B20 | H20/H40 | B20/H20 | B00/B20 | H20/H40 | B20/H20 |
| 14 juin | Ψ | 5,7/5,8 | 5,6/5,2 | 5,8/5,6 | 3,6/3,3 | 4,0/3,3 | 3,3/4,0 |
| | P | 0,195 | 0,356 | 0,810 | 0,362 | 0,058 | 0,104 |
| | N.S. | ns | ns | ns | Ns | ns | ns |
| 19 juillet | | | | | | | |
| | Ψ | 13,2/12,2 | 12,4/11,1 | 12,2/12,4 | 15,5/14,5 | 14,2/12,9 | 14,5/14,2 |
| | P | 0,049 | 0,009 | 0,654 | 0,002 | 0,026 | 0,422 |
| | N.S. | * | ** | ns | ** | * | ns |
| 26 juillet | | | | | | | |
| | Ψ | 14,4/11,9 | 13,0/9,8 | 11,9/13,0 | 16,6/16,1 | 15,5/14,5 | 16,1/15,5 |
| | P | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,097 | 0,018 | 0,091 |
| | N.S. | ** | ** | ** | ns | * | ns |
| 29 août | Ψ | 17,5/10,6 | 12,4/6,9 | 10,6/12,4 | 18,2/13,1 | 13,9/10,1 | 13,1/13,9 |
| | P | 0,000 | 0,000 | 0,526 | 0,000 | 0,000 | 0,256 |
| | N.S. | ** | ** | ns | ** | ** | ns |


©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

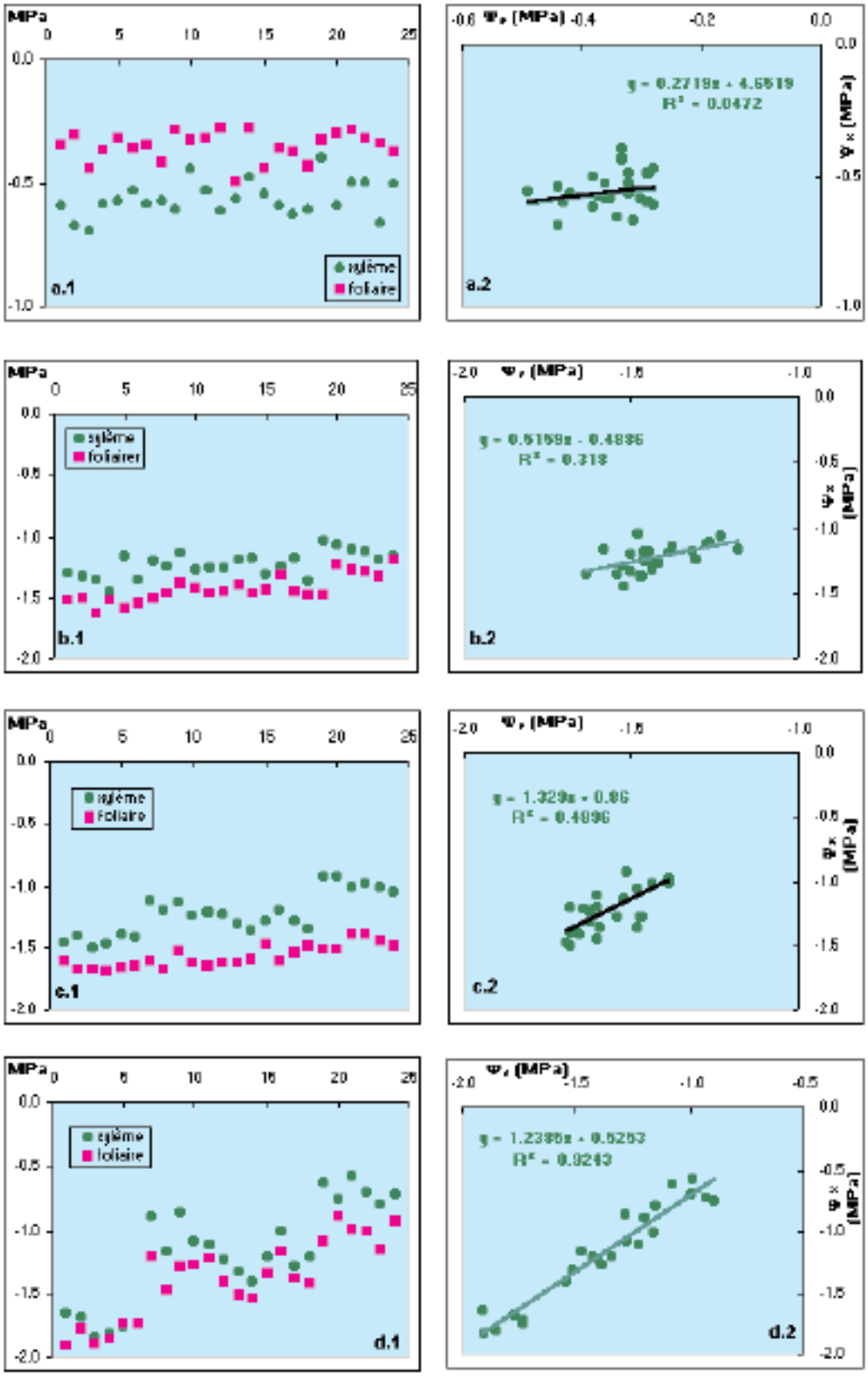



**Figure 1 - Potentiel hydrique (Mpa) de la feuille et du «xylème» et rapport entre les deux potentiels, mesurés le 14 juin (aa et 6 h) (a.1, a.2) et le 19 juillet (b.1, b.2), le 26 juillet (c.1, c.2) et le 29 août (d.1, d.2) (12 h).**

**Leaf and stem water potentials (MPa) and relation between them, measured the 14 of June (aa and 6 hs) (a.1, a.2), and the 19 of July (b.1, b.2), the 26 of July (c.1, c.2) and the 29 of August (d.1, d.2) (12 hs).**


©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)

d'arrosage de 0,0 ETo et 0,2 ETo et entre ceux de 0,2 ETo et 0,4 ETo. Il existe également des différences statistiquement significatives dans le Ψx entre les traitements d'une même dose d'arrosage, 0,2 ETo, établis avec une densité de plantation différente. Par contre, les différences dans le potentiel hydrique foliaire ne sont statistiquement significatives qu'entre les traitements de 0,2 ETo et 0,4 ETo (tableau III).

L'utilisation de l'indicateur Ψx a permis d'apprécier les différences entre le vignoble à culture sèche et l'arrosage à dose moyenne d'une part et entre la dose moyenne et la dose élevée d'arrosage d'autre part. Néanmoins, le Ψf a uniquement permis d'apprécier les différences quand la dose d'arrosage est passée de 0,2 ETo à 0,4 ETo.

Le 29 août est le jour où les deux types de potentiel mesuré ont montré le meilleur rapport entre eux ($R^2$ = 0,92) lors de la prise de mesure réalisée à 12 heures. Les différences entre les valeurs de Ψx et de Ψf n'ont pas été statistiquement significatives au niveau de 5 % mais ont été très proches (6 %) (tableau II). Les valeurs de Ψf se sont toujours situées au-dessus en valeur absolue de celles de Ψx, comme cela a été le cas les deux autres jours cités précédemment dans les mesures prises à midi heure solaire, avec une différence moyenne approximative de 0,2 MPa.

La différence entre les traitements avec différentes doses d'arrosage a été assez sensible pour les deux méthodes de mesure des potentiels. On observe une différence allant jusqu'à 1 MPa avec le potentiel du «xylème» entre les vignobles non irrigué et irrigué de 0,4 ETo mm, et de 0,8 MPa pour le potentiel hydrique foliaire entre les mêmes traitements. Quant à l'analyse statistique des différences entres les potentiels selon les différentes doses d'arrosage, ces différences sont statistiquement significatives, tant entre les traitements sans arrosage et celui de 20 % ETo, qu'entre celui de 20 % ETo et celui de 40 % ETo pour les deux potentiels (tableau III). Cependant, les différences entre les traitements recevant la même dose d'arrosage (0,2 ETo) avec différentes densités de plantation ne sont pas statistiquement significatives.

## CONCLUSIONS

Le rapport entre le potentiel hydrique de la feuille et le potentiel hydrique du «xylème» est de plus en plus étroit au fur et à mesure que le cycle végétatif avance et que les ceps sont soumis à une plus grande contrainte hydrique. Par conséquent, le meilleur rapport entre les deux indicateurs se situe pour les mesures prises à la fin d'août.

À la première date de détermination de l'état hydrique des ceps, l'emploi du Ψx et du Ψf n'a pas permis d'établir de différence statistique entre les traitements d'irrigation. Par contre, au fur et à mesure de l'avancée du cycle, le Ψx a permis de montrer certaines différences entre les traitements et pas le Ψf. Toutefois, lorsque les différences sont très marquées, les deux indicateurs sont à même de mesurer l'état hydrique du plant de vigne en fonction de la dose d'arrosage appliquée.

Le potentiel hydrique foliaire apparaît comme étant une mesure plus facile à réaliser, car il n'est pas nécessaire de couvrir les feuilles avant de prendre les mesures. Par contre, le potentiel hydrique du «xylème» permet de mieux apprécier les différences entre les traitements lorsque celles-ci sont peu marquées.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHONÉ X., VAN LEEUWEN C., DUBOURDIEU D. and GAUDILLÈRE J.P., 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals botany*, **87**, 477-483.

LOVISOLO C., SCHUBERT A., PETERLUNGER E. and FERRARI S., 2000. Sap flow and stem conductivity of potted water stressed grapevines. Proc. of the V Int. Symp. on Grapevine Physiology. ISHS 2000. Ed. B.A. Bravdo. *Acta Horticulturae*, **526**, 187-191.

SÁNCHEZ-DÍAZ M. et AGUIRREOLEA J., 2000. El agua en la planta. *In: « Fundamentos de fisiología vegetal »*. Azcón-Bieto J., Talón M. Ed. Universitat de Barcelona. McGraw-Hill Interamericana. 522 p.

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

SMART R., 2001. Do not blow up your irrigation schedule with the pressure bomb! *Practical Winery & Vineyard*, november/december, 80-81.

VAN LEEUWEN C., CHONÉ X., TRÉGOAT O. and GAUDILLÈRE J.P., 2001. The use of physiological indicators to assess vine water uptake and to manage vineyard irrigation. *The Australian Grapegrower & Winemaker*, **449**, 18-24.


©Vigne et Vin Publications Internationales (Bordeaux, France)