

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)

INFLUENCE OF WATER STATUS ON VINE VEGETATIVE GROWTH, BERRY RIPENING AND WINE CHARACTERISTICS IN MEDITERRANEAN ZONE (EXAMPLE OF NEMEA, GREECE, VARIETY SAINT-GEORGE, 1997)

S. KOUNDOURAS*, C. VAN LEEUWEN*, ** et 1,
G. SEGUIN* et Y. GLORIES*

*Faculté d'Œnologie, Université Victor Segalen Bordeaux II,
351, cours de la Libération, 33405 Talence cedex (France)

**ENITA de Bordeaux, 1, cours du Général de Gaulle, 33175 Gradignan cedex (France)

Résumé : L'influence du régime hydrique de la vigne sur ses mécanismes physiologiques, sur sa vigueur ainsi que sur la maturation du raisin et les caractéristiques des vins a été étudiée au cours de l'été 1997, dans trois parcelles non irriguées, situées dans la zone d'A.O.C. Némée (Péloponnèse, Grèce) et plantées avec le cépage local Saint-Georges (Agiorgitiko). La mesure utilisée comme indicateur de la contrainte hydrique a été celle du potentiel hydrique foliaire Ψ , complétée par des mesures de l'humidité volumique du sol à l'aide d'une sonde TDR (Réflectométrie dans le Domaine Temporel). La réponse de la vigne aux conditions d'alimentation en eau a été estimée par des mesures de conductance stomatique. Le niveau de satisfaction des besoins en eau a été très différent suivant les caractéristiques agro-pédologiques des trois parcelles et a permis d'expliquer les différences observées concernant l'expression végétative de la vigne et également la constitution des raisins à maturité et des vins obtenus par mini-vinification (3,5 hl). Une forte contrainte hydrique a été associée à une diminution de la conductance stomatique au cours de l'été, ce qui s'est traduit par une plus faible vigueur de la vigne et par une meilleure composition des raisins et des vins. Inversement, dans des situations de forte alimentation hydrique, le fonctionnement physiologique de la vigne a été non limitant, ce qui a abouti à une croissance végétative prolongée et, par conséquent, à une faible accumulation d'assimilats dans les raisins.

Abstract : The influence of grapevine water status on vine physiological mechanisms and vigour, as well as on berry ripening and wine characteristics, was studied during the summer of 1997 in the Nemea vine growing area (Peloponnesus, Greece). This involved three non irrigated vineyards planted with the local variety Saint-George (Agiorgitiko). These vineyards differed by their soil texture and by the presence of a water table within reach of the roots. The soil of the plot "A", located at 350 m in altitude, contained a high amount of gravel and stones between 0 and 50 cm in depth. The sub-soil contained nearly 50 p. cent of clay. The plot "L" was located on a plain at 300 m in altitude. Its soil was very loamy. The plot "N" was located on a plain at 260 m in altitude. Its soil contained a high amount of clay and loam but its main characteristic was the presence of a permanent water table within reach of the roots. Vine water status was evaluated throughout the season by measurements of leaf water potential Ψ . Additional measurements of soil water content were executed by means of a TDR moisture probe (Time Domain Reflectometry). Water uptake of the vines showed great differences on the three plots. On the plot A, water uptake of the vines diminished brutally from June (pre-dawn $\Psi = -0,2$ MPa) through September (pre-dawn $\Psi = -1,0$ MPa); measurements of stomatal conductance in early September showed that stomata remained practically closed throughout the day. On the plot N, water was easily available to the vines throughout the summer. Pre-dawn leaf water potential remained between 0 and $-0,2$ MPa from June till September. Stomatal conductance, measured in early September, was high. On L, vine water status was intermediate: pre-dawn leaf water potential declined throughout the season, but not as dramatically as on A. Stomatal conductance, measured in early September, was intermediate between N and A. Water availability had a clear effect on vegetative growth. Growth slackening occurred early in the season on A and late on N. On plot A, berries were smaller and showed high sugar and anthocyanin concentration and low malic acid content. Wine from A, obtained by mini-vinification (3,5 hl), was rich in alcohol, anthocyanins and tanins. On N, berries had a low sugar and anthocyanin content. Wine from grapes grown on N was poor in alcohol and polyphenolics. Berry and wine composition was intermediate on L.

Mots clés : régime hydrique, potentiel hydrique, conductance stomatique, vigueur, maturation

Key words : water status, water potential, stomatal conductance, vigour, ripening

INTRODUCTION

La disponibilité en eau constitue un des principaux facteurs limitants de la végétation et de la production en région méditerranéenne. La pluviométrie est faible et très irrégulière et la demande évapotranspiratoire est forte à cause des températures très élevées en période estivale. La vigne est une plante qui, face à des conditions d'une faible disponibilité en eau, fait preuve d'une capacité d'adaptation, comme c'est le cas en région méditerranéenne et notamment dans la région de Némée où la vigne semble être bien établie, sans besoin d'irrigation pendant la période estivale. Cette adaptation de la vigne est liée, outre à des éléments anatomiques et morphologiques comme la profondeur de l'enracinement, à certains processus physiologiques permettant une adaptation aux conditions de sécheresse, tels que la régulation stomatique (LOVEYS et KRIEDEMANN, 1974 ; DÜRING et LOVEYS, 1982) ou l'ajustement osmotique (DÜRING, 1984, 1985).

Il est généralement admis que le régime hydrique de la vigne influence le potentiel œnologique de la vendange. Une grande disponibilité en eau induit une vigueur excessive et des rendements élevés qui s'accompagnent d'une dilution des constituants des raisins. A l'opposé, une alimentation hydrique non excessive réduit la croissance végétative et permet une accumulation importante d'assimilats dans les baies. L'effet favorable de la faible vigueur est liée à la modification du microclimat des parties aériennes (SMART et COOMBE, 1983) ainsi qu'à la meilleure répartition des assimilats entre l'appareil végétatif et l'appareil reproducteur (CARBONNEAU *et al.*, 1977 ; FREEMAN *et al.*, 1980). Il a été montré qu'en zone de climat tempéré, la régulation de l'alimentation en eau à un niveau faible est un facteur de qualité déterminant d'un terroir viticole (SEGUIN, 1970 ; DUTEAU *et al.*, 1981 ; CARBONNEAU, 1986 ; VAN LEEUWEN et SEGUIN, 1994). L'objectif du présent travail a été de vérifier la validité de cette constatation sous climat chaud et sec, comme celui de Némée, par une étude du comportement physiologique et végétatif de la vigne sous conditions de contrainte hydrique variable et d'évaluer les répercussions sur la constitution des raisins et des vins.

Le vignoble de Némée en Péloponnèse figure parmi les plus importants de la Grèce. Il couvre près de 2 500 ha et constitue une zone d'appellation de production de vins rouges à base du cépage autochtone Saint-Georges (Agiorgitiko). Cette région connaît une importante diversité agro-pédologique qui aboutit à une variabilité des conditions d'alimentation en eau. Dans ce travail, nous avons étudié trois parcelles de la région de Némée caractérisées par un fonctionnement hydrique différent. Les résultats de cette étude constituent également une contribution à une meilleure orientation vers l'exploitation plus rationnelle des terrains viticoles de la région. Ce travail a été réalisé sur six parcelles au cours des millésimes 1996, 1997 et 1998. Nous présentons ici les résultats obtenus lors de la campagne de 1997, sur trois parcelles, qui sont caractéristiques des trois types de régime hydrique rencontrés.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Les recherches ont été menées sur trois parcelles non irriguées de la zone d'AOC Némée, plantées avec le cépage Saint-Georges, greffé sur 110R ou 41B. Les trois parcelles ont été conduites en cordon royat (même hauteur de palissage) et à une densité d'environ 4 500 pieds/ha. Ces parcelles ont été retenues en raison de leurs différences agro-pédologiques. La parcelle A, en situation de légère pente exposée à l'est, est caractérisée par la prédominance d'argile dans le sol (à l'exception d'une couche caillouteuse en surface, de 40 cm d'épaisseur). Le sol de la parcelle L, en situation plane, possède un taux très élevé de limon sur toute la hauteur du profil étudié (150 cm). La parcelle N possède un sol limono-argileux et elle est caractérisée par la présence d'une nappe d'eau phréatique qui se stabilise en hiver à environ 1 m de profondeur. Les principales caractéristiques des trois parcelles sont regroupées dans le tableau I.

Les conditions climatiques durant la période des mesures ont été appréciées à partir des données d'une station météorologique installée dans la zone d'A.O.C. Le traitement des données climatiques, complété par l'indice d'aridité de Demarton (tableau II), montre que,

TABLEAU I
Caractéristiques viticoles et topographiques des parcelles expérimentales

Table I - Viticultural and topographical characteristics of the experimental plots

	système de conduite	porte-greffe	âge des vignes	écartement x espacement (m)	altitude (m)	situation topographique
A	cordon royat	110R	20	2,0 x 1,2	350	légère pente
L	cordon royat	41B	16	2,2 x 1,0	300	plaine
N	cordon royat	110R	17	2,0 x 1,0	260	plaine

TABLEAU II
Données climatiques pour la région de Némée et pour la période des mesures

Table II - Climatic data for the Nemea area during the measurements period

	température (t) mensuelle minimale (°C)	température (t) mensuelle maximale (°C)	température (t) mensuelle moyenne (°C)	précipitations (p) (mm)	indice d'aridité (L) $L=12 p/(t_{moy}+10)$
juin	14,1	30,5	22,8	6	1,8
juillet	15,3	32,4	24,7	0	0
août	14,3	29,1	22,0	40	15,0
septembre	10,4	25,2	18,1	7	3,0

à l'exception d'un incident orageux du mois d'août (mais dont l'efficacité a été faible en ce qui concerne le réapprovisionnement hydrique des sols à cause des phénomènes de ruissellement), la période végétative de la vigne a été caractérisée par des conditions climatiques sèches, typiques de l'été méditerranéen.

La composition granulométrique des trois sols a été déterminée par la méthode de la pipette ROBINSON pour les fractions fines (argile et limon) et par tamisage sous l'eau pour le sable. Les mesures de la Capacité de Rétention CR et du Point de Flétrissement Permanent PFP des trois sols ont été effectuées au laboratoire à l'aide d'une presse à membrane (pression 0,3 Atm et 15 Atm respectivement). L'Eau Utile EU a été évaluée par la différence entre les deux valeurs.

Le stock d'eau dans le sol a été apprécié à différents stades du cycle végétatif de la vigne (nouaison, véraison et vendanges) par l'humidimètre TDR (type Trime). Des tubes en PVC ont été implantés dans le sol jusqu'à 200 cm de profondeur et sur le rang de plantation afin que la mesure soit représentative de la zone du sol exploitée par les racines.

L'évaluation de l'état hydrique de la vigne a été réalisée par la mesure du potentiel hydrique foliaire Ψ à l'aide d'une chambre à pression (SCHOLANDER *et al.*, 1965) et selon la technique décrite par TURNER (1981). Le potentiel hydrique correspond à l'énergie que peut céder l'unité de volume d'eau au cours d'une transformation isotherme et réversible, le faisant passer de l'état actuel à l'état d'eau libre sous pression atmosphérique. En ce qui concerne les mesures du potentiel hydrique de base Ψ_b , le protocole expérimental prévoyait une mesure tous les 20 jours, effectuée peu avant le lever du soleil. Les mesures journalières ont été effectuées toutes les trois heures à partir de 6 h (heure solaire). Les mesures ont été effectuées sur des feuilles intactes, adultes (entre le 6^e et le 9^e nœud) et pleinement exposées au soleil, sur des ceps situés à proximité du tube de l'humidimètre. Les valeurs indiquées correspondent

à la moyenne de 6 répétitions, ce qui a permis le traitement statistique des résultats.

La réponse physiologique de la vigne aux conditions d'alimentation en eau a été estimée par la mesure de la conductance stomatique à l'aide d'un poromètre à diffusion (AP4 Porometer, DELTA-T Devices). Les mesures ont été réalisées sur les feuilles utilisées pour la mesure du potentiel hydrique avant leur détachement du rameau, ce qui a permis l'étude comparative de la variation saisonnière de la conductance stomatique en fonction du potentiel hydrique, en conditions naturelles. Les valeurs de conductance obtenues sont également la moyenne de 6 répétitions.

Sur les parcelles étudiées, nous avons noté la précocité des stades phénologiques suivants : le mi-débourrement (50 p. cent de bourgeons au stade B de BAGGIOLINI : bourgeon dans le coton) et la mi-véraison : (50 p. cent de baies vérees). La croissance végétative de la vigne a été appréciée par des mesures hebdomadaires de la longueur des 40 rameaux primaires par parcelle (un rameau non rogné par pied de vigne), conduits verticalement le long de tuteurs implantés à côté du tronc. La croissance a été considérée comme arrêtée à partir du moment où l'allongement moyen journalier est devenu inférieur à 0,2 cm. Le rendement par souche a été apprécié au moment des vendanges, sur l'ensemble des ceps utilisés pour les mini-vinifications et le poids moyen d'une baie pesée au laboratoire, sur les raisins prélevés en vue des contrôles de maturité. Afin de limiter les interférences d'origine humaine, nous avons effectué sur les trois parcelles une taille d'hiver similaire, laissant un même nombre de bourgeons par cep (12 à 14).

Les contrôles de maturité des raisins ont été effectués par des prélèvements des raisins sur 20 souches de chaque parcelle (une grappe par pied de vigne). Les baies de raisin ont été comptées et pesées. 200 baies ont été séparées (et ajustées au poids moyen total) afin d'y déterminer la teneur en composés phénoliques des pellicules. Le reste des baies a été pressé pour en

extraire le jus. Dans le présent travail, nous incorporons uniquement les résultats correspondant au prélèvement réalisé au moment des vendanges. Les raisins des trois parcelles ont été récoltés à maturité (à la même date) et vinifiés séparément dans des cuves en acier inoxydable de 3,5 hl. Les mêmes conditions de vinification ont été utilisées afin de conserver les caractéristiques des raisins au niveau des vins.

La constitution des raisins à maturité et des vins expérimentaux a été déterminée selon les méthodes suivantes :

- sucres réducteurs par réfractométrie ;
- acidité totale par titrimétrie avec de la soude N/10 ;
- acide malique par chromatographie liquide de haute performance après passage sur cartouche garnie de silice greffée octadécyl (Sep Pak C18-RP WATERS ASS) (MONK et ILAND, 1984) ;
- anthocyanes par la méthode de décoloration par l'hydrogénosulfite de sodium et mesure de la densité optique à 520 nm, (parcours optique de 1 cm) (RIBÉREAU-GAYON et STONESTREET, 1965 ; GLORIES, 1978) ;
- tanins par transformation des procyanidines en anthocyanidines à 100°C et en milieu acide, puis mesure de la densité optique à 550 nm (parcours optique de 1 cm) (RIBÉREAU-GAYON et STONESTREET, 1966 ; GLORIES, 1978) ;

- indice des polyphénols totaux par la mesure de la densité optique à 280 nm (parcours optique de 1 cm) (RIBÉREAU-GAYON, 1970) ;

- intensité colorante IC en faisant la somme des densités optiques à 420, 520 et 620 nm (parcours optique de 1 mm).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I - FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DES SOLS

Le sol de la parcelle A est caractérisé par sa richesse en gravier et en caillou dans les couches de surface et par la prédominance d'argile dans les horizons sous-jacents (près de 50 p. cent de la terre fine : figure 1). En raison de l'importance de la fraction argileuse dans la texture, la réserve en eau facilement utilisable RFU de ce sol est peu importante (figure 2 : Eau Utile EU peu importante par rapport à la Capacité de Rétention CR). Le sol de la parcelle L est caractérisé par la prédominance de limon sur toute la hauteur du profil (figure 1). La réserve hydrique de ce sol est très importante (CR plus élevée) et, en raison de la bonne répartition entre microporosité et macroporosité (rôle du limon), cette eau est en grande partie disponible pour les vignes (figure 2 : EU importante). Le sol de la parcelle sur nappe N est caractérisé par sa richesse en argile et, surtout, en limon (figure 1). La RFU de ce sol est intermédiaire de celles de deux sols précédents. Or, en raison de la présence d'une nappe à proximité de la surface qui reste toujours au contact des racines de la vigne, l'alimentation en eau de la vigne, sur cette parcelle,

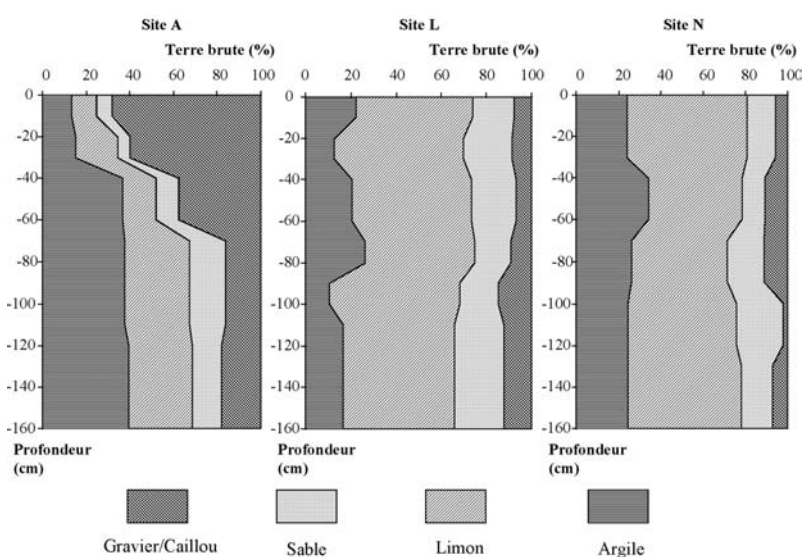


Fig. 1 - Diagrammes de texture des sols des parcelles expérimentales

Fig. 1 - Texture diagrams of the soils of the experimental plots

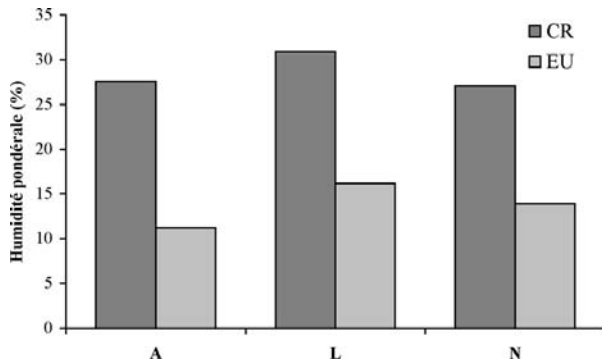


Fig. 2 - Relation entre la Capacité de Rétention CR et l'Eau Utile EU dans le sol des trois parcelles
(moyenne des valeurs sur 150 cm de profondeur)

Fig. 2 - Relation between Field Capacity CR and Useful Water EU in the soil of the three plots
(mean of values in 150 cm of depth)

risque de s'effectuer dans des conditions non limitantes, tout au long de la période végétative.

L'évolution du stock d'eau (ΔS) dans le sol de la parcelle A (figure 3) montre que, de la nouaison (23/6) jusqu'à la véraison (3/8), il existe une absorption régulière à partir des réserves hydriques du sol sur toute la hauteur du profil étudiée. Cela indique que les racines puisent encore de l'eau dans la RFU. La consommation en eau de la vigne sur 180 cm (ΔS) atteint 84 mm, soit environ 2,0 mm/jour (tableau III). En revanche,

après la véraison, l'absorption d'eau par la vigne diminue fortement, comme en témoigne la très faible variation du stock d'eau sur 180 cm ($\Delta S = 4$ mm). Sur la parcelle L, la RFU du sol est plus importante en raison de l'abondance de la fraction limoneuse. L'absorption d'eau se fait d'une manière régulière, sur toute la profondeur étudiée et durant toute la période nouaison-vendanges (ΔS comparable avant et après véraison). La méthode TDR étant peu fiable dans les cas des sols sur nappe (impossibilité de connaître la consommation d'eau de la vigne à partir de la nappe, la présence de remontés capillaires ou de drainage), nous n'avons pas établi de profils hydriques sur le site N. Toutefois, la présence d'une nappe d'eau à portée des racines assure, en général, une alimentation hydrique non limitante (VAN LEEUWEN, 1991). Il faut signaler que les profils hydriques présentés ne sont pas bouclés en profondeur puisqu'il existe des absorptions au-delà de la profondeur maximale du tube d'accès de l'humidimètre. Par conséquent, il n'est pas possible d'établir des bilans hydriques mais seulement de raisonner en termes de consommations d'eau sur la hauteur du profil étudiée. On peut tout de même noter que les valeurs de consommations d'eau trouvées par la technique TDR sont en accord avec l'état hydrique de la plante, tel que nous l'avons mesuré à travers le potentiel hydrique foliaire Ψ (figures 4 et 5) et la conductance stomatique C_s (figure 6). Ainsi, l'épuisement de la RFU du sol A après la véraison se traduit au niveau de la plante par une diminution importante du Ψ_b et de la C_s tandis que sur

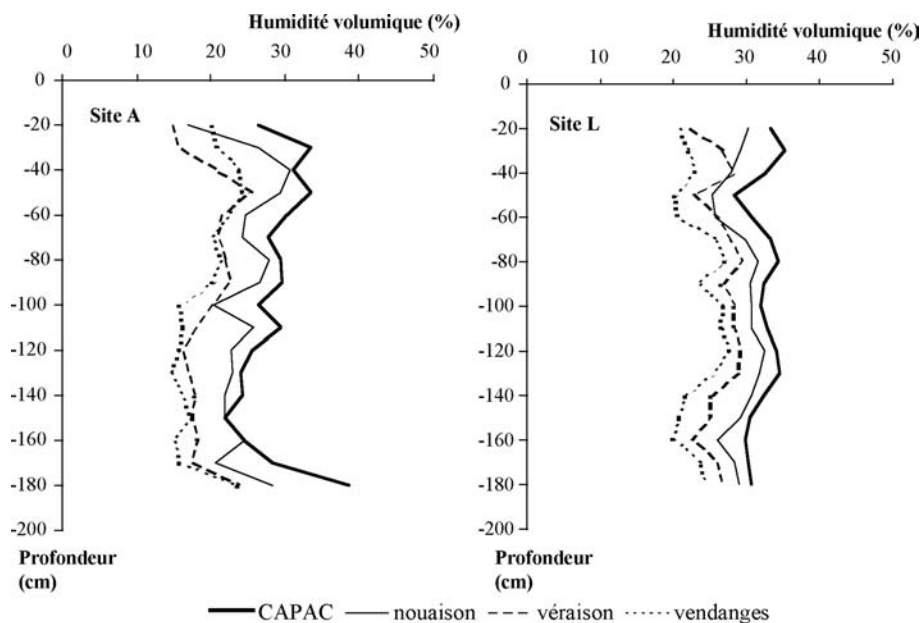


Fig. 3 - Stock d'eau dans le sol des parcelles A et L, sur 180 cm de profondeur, à différents stades du cycle végétatif de la vigne

Fig. 3 - Soil water content in plots A and L, in 180 cm of depth, at different stages of the vine vegetative cycle

TABLEAU III
Consommation en eau de la vigne ΔS sur 180 cm
de profondeur du sol (mm)

Table III - Water consumption of vines ΔS
in 180 cm of soil depth (mm)

	ΔS nouaison - véraison	ΔS véraison - maturité
A	84	4
L	47	49
N	-	-

le site N, à nappe, le régime hydrique est non limitant et les paramètres physiologiques restent peu affectés ; sur le site L, la réponse de la vigne est intermédiaire.

II - ETAT HYDRIQUE DE LA VIGNE - REPONSE PHYSIOLOGIQUE DE LA VIGNE AUX CONDITIONS D'ALIMENTATION EN EAU

L'étude de l'état hydrique de la vigne sur les trois parcelles a été effectuée par des mesures du potentiel hydrique foliaire Ψ à l'aide d'une chambre à pression. Deux applications de cette technique ont été utilisées : l'appréciation de l'évolution saisonnière du potentiel hydrique de base Ψ_b et l'appréciation de l'évolution journalière du potentiel hydrique Ψ au cours de quelques journées bien ensoleillées.

Le Ψ_b est mesuré peu avant le lever du soleil en l'absence de transpiration (stomates fermés à l'obscurité). Il a été admis par divers auteurs que le Ψ_b est voisin (± 1 bar) de la valeur du potentiel hydrique moyen du sol dans la zone exploitée par les racines (KLEPPER, 1968; STEINHARDT *et al.*, 1981; KATERJI *et al.*, 1983). Suivant KATERJI et HALLAIRE (1984), le Ψ_b traduit d'une manière assez précise les conditions d'alimentation hydrique d'un végétal

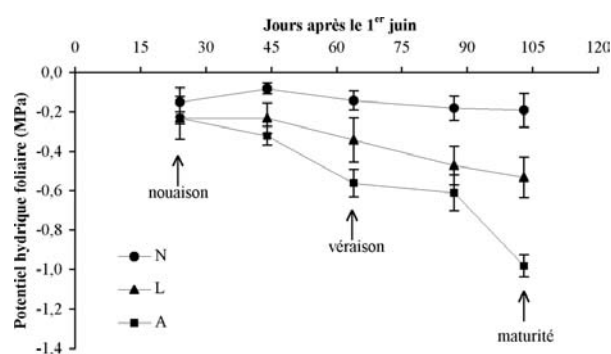


Fig. 4 - Evolution saisonnière du potentiel hydrique foliaire de base Ψ_b sur les trois parcelles expérimentales.
 Les barres verticales indiquent l'erreur standard des moyennes.

Fig. 4 - Seasonal pattern of predawn leaf water potential Ψ_b
on the three experimental plots.

Vertical bars indicate the standard error of the means.

et dépend de l'état de dessèchement de la zone du sol exploitée par le système racinaire: plus il est négatif, plus le déficit hydrique est important. Les mesures ont été effectuées à partir de la fin juin, ce qui coïncide approximativement avec le début de la période de sécheresse.

Dans la parcelle A, le Ψ_b a subi, au cours de cette période, une diminution continue qui a abouti à des valeurs fortement négatives au moment de la maturité (figure 4). Sur ce site, la contrainte hydrique s'installe précocement : le Ψ_b dépasse $-0,3$ MPa dès la deuxième mesure (14/7), valeur considérée par SMART et COOMBE (1983) comme un début de stress hydrique. L'alimentation en eau devient fortement déficitaire après la véraison avec des valeurs de Ψ_b proches de $-1,0$ MPa au moment des vendanges. Dans la parcelle limoneuse L, la diminution du Ψ_b est moins forte par rapport à celle observée sur la parcelle A (Ψ_b minimum de $-0,56$ MPa) et, par conséquent, le déficit hydrique reste modéré. En revanche, sur la parcelle N sur nappe, les valeurs de Ψ_b demeurent très faiblement négatives (entre 0 et $-0,2$ MPa) tout au long de la période végétative, ce qui témoigne d'une alimentation hydrique non limitante. L'analyse de variance des moyennes a montré que les différences entre les valeurs de Ψ_b des trois parcelles sont significatives au seuil de 0,05 (test de NEWMAN et KEULS) dès la deuxième mesure (14/7).

Afin d'évaluer l'état hydrique de la vigne à l'échelle de la journée, nous avons suivi l'évolution du Ψ des feuilles au cours de quelques journées bien ensoleillées. Les mesures du Ψ ont été accompagnées de celles de la conductance stomatique des feuilles. Dans les conditions naturelles, la conductance stomatique suit les variations du rayonnement solaire en début de journée (BERGER, 1973) et de la contrainte hydrique interne (PEARSON et JOLLIFF, 1985) qui cause la fermeture des ostioles dès que la valeur du Ψ dépasse un seuil critique bien différencié parmi les espèces (BEGG et TURNER, 1976). Trois campagnes de mesures ont été effectuées au cours de la période végétative de 1997 : une au moment de la nouaison (23/6), une lors de la véraison (3/8) et une à proximité des vendanges (11/9). Nous présentons ici la mesure du 11/9 qui illustre bien les écarts creusés entre les parcelles durant le cycle végétatif de la vigne.

Le Ψ devient rapidement fortement négatif sur le site A (il passe de $-0,75$ à 6 h 30 MPa à $-1,51$ MPa à 9 h 30 : figure 5). En outre, l'on peut constater que les valeurs de Ψ varient peu durant le reste de la journée ; les valeurs de Ψ atteignent un plateau jusqu'à la fin de l'après-midi, ce qui est en relation avec les valeurs très faibles de la conductance stomatique au cours de la

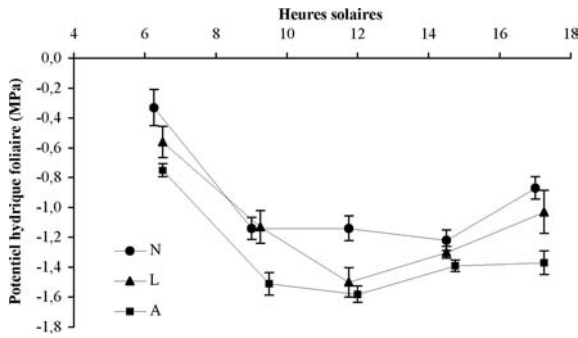


Fig. 5 - Evolution journalière du potentiel hydrique foliaire Ψ sur les trois parcelles expérimentales (mesure de 11/9/97).

Les barres verticales indiquent l'erreur standard des moyennes

Fig. 5 - Diurnal pattern of leaf water potential Ψ on the three experimental plots (measurement of 11/9/97)

Vertical bars indicate the standard error of the means

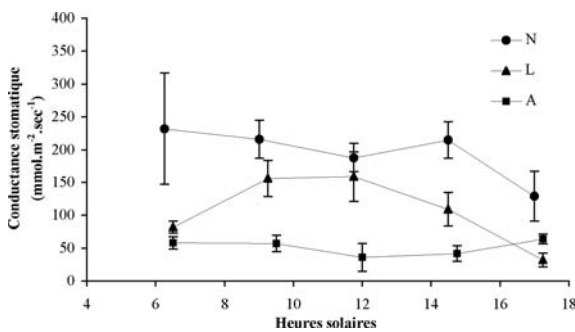


Fig. 6 - Evolution journalière de la conductance stomatique C_s sur les trois parcelles expérimentales (mesure de 11/9/97).

Les barres verticales indiquent l'erreur standard des moyennes

Fig. 6 - Diurnal pattern of stomatal conductance C_s on the three experimental plots (measurement of 11/9/97) ;

Vertical bars indicate the standard error of the means

même période (inférieures à 70 mmol.m⁻².sec⁻¹ : figure 6). Les conditions de stress hydrique prolongé que subit la vigne sur cette parcelle semblent avoir endommagé le mécanisme d'ouverture des stomates lesquels, en fin de période végétative, restent pratiquement fermés tout au long de la journée, même en début du jour lorsque les conditions atmosphériques sont plus favorables (ce qui est connu comme le "after effect"). Dans la parcelle L, la diminution du potentiel hydrique est plus progressive, bien que la valeur minimale ne diffère pas significativement de celle enregistrée sur la parcelle A (figure 5). Cette valeur (1,50 MPa à 12 h 00) constitue probablement un seuil critique qui déclenche la fermeture des stomates afin de limiter les pertes d'eau par transpiration, comme en témoignent la diminution de la conductance stomatique à partir de 12 h 00 (figure 6) et l'augmentation consécutive du

Ψ indiquant la réhumectation des tissus. La valeur maximale de la conductance stomatique sur la parcelle L (159 mmol.m⁻².sec⁻¹) est significativement plus élevée que celle de la parcelle A (64 mmol.m⁻².sec⁻¹). Sur le site N sur nappe d'eau permanente, la variation journalière du Ψ est plus élevée et les valeurs ne dépassent guère -1,20 MPa (figure 5). Cela est en accord avec les valeurs de conductance stomatique plus élevées tout au long de la journée (figure 6). La valeur maximale de la conductance stomatique sur la parcelle N (216 mmol.m⁻².sec⁻¹) est significativement plus élevée que celles des deux autres parcelles. Une diminution se produit naturellement en fin d'après-midi (à partir de 17 h 00) en raison de la diminution du rayonnement solaire, ce qui conduit à une récupération rapide des tissus (augmentation du Ψ en fin du jour).

De nombreux auteurs ont démontré des corrélations entre les conditions de l'alimentation en eau et le fonctionnement des stomates. GIULIVO (1980) a observé une diminution de la conductance stomatique d'un facteur six lorsque la teneur en eau du sol passait de 70 p. cent à 40 p. cent de la Capacité au Champ. VAN ZYL (1987) a mis en évidence une corrélation significative entre la conductance stomatique et le Ψ_b . Une corrélation similaire est représentée sur la figure 7 ; afin d'élargir la validité de cette corrélation, nous avons effectué les mêmes mesures sur trois autres parcelles de la région et lors des mêmes dates. Suivant cette corrélation, la conductance stomatique diminue au cours de la saison en fonction du Ψ_b : plus le Ψ_b devient négatif, plus la valeur maximale de la conductance stomatique est faible. On note que la conductance stomatique varie entre 0 et -0,3 MPa (dispersion des points est plus importante), ce qui est probablement lié à l'influence d'autres facteurs qui interviennent dans le contrôle stomatique (rayonnement solaire, saturation de l'air). Toutefois, lorsque le Ψ_b dépasse le seuil de -0,3 MPa, le régime hydrique devient le facteur limitant le plus important pour le fonctionnement physiologique de la vigne, comme en témoigne la forte diminution des valeurs de la conductance stomatique. Ceci est en accord avec les résultats de SMART et COOMBE (1983). La corrélation est significative au seuil de 0,001.

L'on a par ailleurs suggéré que la variation journalière et saisonnière de la conductance stomatique est également reliée à celle du potentiel hydrique Ψ (LUDLOW, 1980). Une telle relation est illustrée sur la figure 8 qui présente l'évolution saisonnière de la conductance stomatique en fonction de la valeur minimale du Ψ atteinte pendant les heures de la journée de plus forte demande atmosphérique. Conformément à la corrélation précédente, la conductance stomatique diminue au cours de la saison également en fonction

du Ψ minimum de la journée. On observe une dispersion plus importante des points pour des valeurs de Ψ supérieurs à -1,2 MPa, ce qui confirme les valeurs données par SMART et COOMBE (1983) pour la diminution de la photosynthèse (-1,3 MPa). La corrélation est significative au seuil de 0,001.

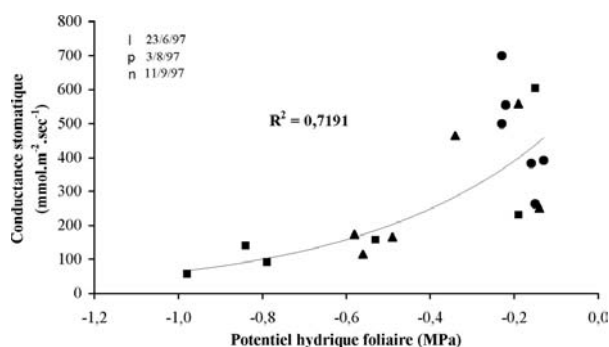


Fig. 7 - Variation de la conductance stomatique Cs maximale en fonction du potentiel hydrique foliaire de base Ψ_b

Fig. 7 - Changes in maximum stomatal conductance Cs in relation to predawn leaf water potential Ψ_b

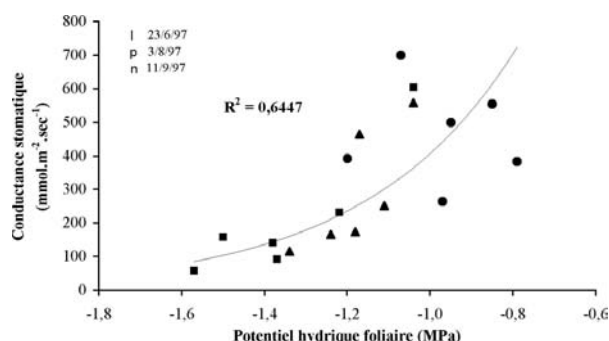


Fig. 8 - Variation de la conductance stomatique Cs maximale en fonction du potentiel hydrique foliaire Ψ minimum

Fig. 8 - Changes in maximum stomatal conductance Cs in relation to minimum leaf water potential Ψ

IV - EFFET DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE SUR LA VIGUEUR DE LA VIGNE ET LA CONSTITUTION DU RAISIN ET DES VINS

La vigueur de la vigne est en grande partie liée à son régime hydrique. La diminution de la croissance végétative est l'incidence la plus caractéristique d'une faible disponibilité en eau. Le ralentissement de la croissance est doublement liée à la diminution des échanges gazeux à cause de la fermeture des stomates (SMART et COOMBE, 1983) et à la diminution de l'expansion cellulaire due à la perte de turgescence de la cellule (HSIAO *et al.*, 1985 ; SCHULZE, 1986). SCHULTZ et MATTHEWS (1988) ont constaté que, en phase de dessèchement, la résistance hydraulique des rameaux de la vigne augmente du fait d'une embolisation des vaisseaux du bois, ce qui provoquerait l'arrêt de croissance. La contrainte hydrique exerce également un effet dépressif sur le grossissement de la baie de raisin (DUTEAU, 1984 ; CREASY et LOMBARD, 1993) et sur les rendements (SMART *et al.*, 1974), notamment si le déficit s'installe précocement (avant véraison).

Sur la parcelle A, caractérisée par un régime hydrique limitant, le cycle phénologique de la vigne est plus précoce (tableau IV) et l'arrêt de la croissance intervient très tôt (12/7). Cette parcelle est également caractérisée par le poids des baies et les rendements les plus faibles. Les parcelles L et N, caractérisées par une alimentation hydrique peu ou non limitante, présentent un cycle phénologique plus tardif et une croissance végétative prolongée (dates d'arrêt de croissance 27/7 et 30/7 respectivement). La longueur finale des rameaux est importante sur L mais faible sur N. Le poids d'une baie à maturité et les rendements sont comparables, tout en restant nettement supérieurs à ceux observés sur le site A. La longueur finale des rameaux importante dans la parcelle L est probablement liée à une alimentation azotée plus importante, manifestée par des teneurs plus élevées d'azote total des moûts à maturité (tableau V) (SOYER *et al.*, 1996).

TABLEAU IV

Précocité du cycle végétatif et paramètres de la vigueur de la vigne sur les parcelles expérimentales

Table IV - Earliness of the vegetative cycle and parameters of vine vigour in the experimental plots

	Date de débourrement	Date de véraison	Date d'arrêt de croissance	Longueur finale des rameaux (cm)	Poids d'une baie à maturité (g)	Rendement par souche (kg)
A	18/4	8/8	12/7	222	1,48	2,2
L	25/4	13/8	27/7	280	1,67	3,3
N	27/4	16/8	30/7	192	1,64	3,4

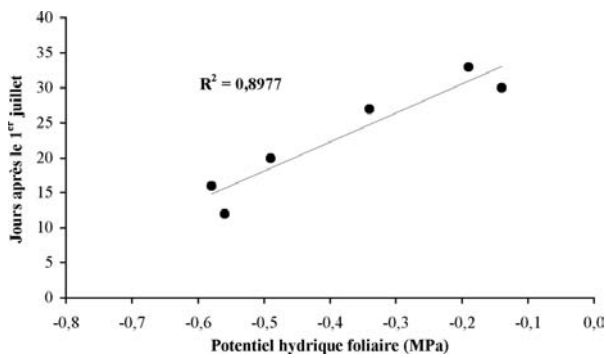


Fig. 9 - Variation de la précocité de l'arrêt de croissance des rameaux primaires en fonction du potentiel hydrique foliaire de base Ψ_b à la véraison

Fig. 9 - Changes in the earliness of growth slackening in relation to predawn leaf water potential Ψ_b at veraison

Il existe une corrélation significative (seuil de 0,001) entre la précocité de l'arrêt de croissance des rameaux (exprimé en nombre de jours après le 1^{er} juillet) et la valeur du Ψ_b à la véraison, utilisé comme indicateur de l'importance de la contrainte hydrique (figure 9). La corrélation a été élargie par les dates d'arrêt de croissance notées sur trois autres parcelles de la région.

Le régime hydrique influence fortement les teneurs des raisins en certains constituants et notamment la teneur en sucres et en acide malique du moût et la teneur en anthocyanes des pellicules. Les résultats obtenus au cours d'expérimentations d'irrigation ont montré que, sauf dans les cas d'un véritable stress hydrique, ce sont les vignes subissant une contrainte hydrique relativement modérée qui possèdent les concentrations les plus élevées en sucres à maturité (HENDRICKSON et VEIHMEYER, 1951 ; VAADIA et KASIMATIS, 1961 ; RUHL et ALLEWELDT, 1985). Le moment d'apparition de la contrainte hydrique intervient également sur la concentration des sucres dans la baie: il semble qu'un déficit relativement précoce, installé bien avant la véraison, est le plus favorable à l'accumulation des sucres par l'induction d'un arrêt précoce de la croissance végétative et par une limitation de la croissance des baies. Une alimentation hydrique non limi-

tante pendant la même période retarde l'arrêt de croissance et augmente les rendements, ce qui aboutit à la diminution de la teneur en sucres des raisins. La teneur en acide malique du moût dépend également du régime hydrique de la vigne. Une forte alimentation en eau se traduit par à une moindre dégradation de l'acide malique (SEGUIN, 1975; VAN ZYL, 1984). SMART *et al.* (1974) attribuent la forte acidité des moûts provenant des vignes irriguées à un microclimat plus frais qui conditionne une combustion moins importante des acides organiques au cours de la maturation. Le régime hydrique joue également un rôle important dans la régulation des teneurs en composés phénoliques du raisin. La plus forte teneur en pigments des raisins et des vins issus de vignes subissant une contrainte hydrique modérée a été signalée par de nombreux auteurs (RANKINE, 1964 ; SPIEGEL-ROY et BRAVDO, 1964 ; CARBONNEAU, 1986 ; VAN LEEUWEN et SEGUIN, 1994). Le moment d'apparition du déficit hydrique joue également un rôle important dans l'accumulation des composés phénoliques: les essais de MATTHEWS et ANDERSON (1988) ont montré qu'un déficit hydrique précoce (pré-véraison) stimule davantage l'accumulation des composés phénoliques dans les pellicules qu'un déficit hydrique tardif.

En ce qui concerne la constitution des raisins à maturité, sur la parcelle A (caractérisée par un régime hydrique fortement limitant), les raisins présentent le taux le plus élevé en sucres (tableau V). La forte teneur en sucres est accompagnée d'une faible acidité et d'une faible teneur en acide malique. Inversement, la parcelle N (à nappe d'eau permanente) est caractérisée par une accumulation moins importante de sucres et par une acidité plus élevée. Sur la parcelle L, caractérisée par un régime hydrique peu limitant, la constitution de la pulpe des raisins est intermédiaire. En ce qui concerne la maturation de la pellicule, le maximum de composés phénoliques a été atteint bien avant la maturité de la pulpe (le 5/9), pour une date théorique des vendanges située vers le 25/9). Les teneurs en anthocyanes sont exprimées en mg par kg de vendange, ce qui prend mieux en compte la réalité de la vinification. La parcelle argileuse A possède les raisins les plus riches en

TABLEAU V
Constitution chimique des raisins à maturité sur les parcelles expérimentales

Table V - Berry composition at maturity in the experimental plots

	Sucres réducteurs (g/l moût)	Acidité totale (meq/l moût)	Acide malique (mg/l moût)	Azote total (meq/l moût)	Anthocyanes des pellicules (mg/kg raisins)	Polyphénols totaux des pellicules (D280)
A	226	67	13	294	549	29,8
L	222	76	23	420	369	24,1
N	188	81	27	343	352	25,9

TABLEAU VI
Constitution chimique des vins expérimentaux

Table VI - Composition of the experimental wines

	Titre alcoométrique (%)	Acidité totale (g H ₂ SO ₄ /l)	Intensité de la couleur (D ₄₂₀ +D ₅₂₀ +D ₆₂₀)	Anthocyanes (mg/l)	Tanins (g/l)	Polyphénols totaux (D ₂₈₀)
A	12,2	3,6	0,619	429	2,69	49,9
L	11,7	3,1	0,357	335	2,15	44,2
N	11,1	3,4	0,406	304	2,13	40,1

anthocyanes et en polyphénols totaux des pellicules (tableau V). Inversement, les raisins provenant des parcelles L et N en sont relativement pauvres.

En accord avec les résultats obtenus au niveau des raisins, c'est le vin issu de la parcelle A qui est le plus riche en alcool et en composés phénoliques, ce qui se traduit par une forte intensité colorante (tableau VI). Le vin issu de la parcelle N présente un titre alcoométrique faible et les teneurs les moins importantes en composés phénoliques parmi les trois parcelles. Le vin issu du site L présente logiquement une composition chimique intermédiaire.

CONCLUSIONS

Cette étude a montré l'étroite liaison entre, d'une part, les conditions d'alimentation en eau et, d'autre part, le comportement végétatif de la vigne et la constitution des raisins et des vins. Les résultats obtenus lors de cette étude suggèrent que, même dans des conditions climatiques très chaudes et sèches, la meilleure constitution des raisins et des vins est associée à la régulation de l'alimentation en eau vers un niveau faible, voire déficitaire. En plus, ces expérimentations ont permis d'interpréter les effets de l'alimentation en eau de la vigne sur son état physiologique, à travers les variations de la conductance stomatique des feuilles qui est un indicateur très sensible de l'état physiologique global de la plante. D'une manière générale, une forte alimentation en eau, accompagnée d'un fonctionnement physiologique non limitant (valeurs de conductance stomatique élevées), favorise une croissance végétative prolongée et des rendements élevés : dans ces conditions, les raisins sont peu sucrés et relativement pauvres en composés phénoliques. Inversement, un déficit hydrique précoce, matérialisé au niveau de la plante par une forte diminution des activités physiologiques (valeurs faibles de la conductance stomatique), provoque un arrêt précoce de la croissance végétative et modifie la répartition des assimilats entre les organes végétatifs et reproducteurs, en faveur des raisins.

Parmi les parcelles étudiées, la parcelle argileuse A, caractérisée par un déficit hydrique important au cours de l'été, présente les caractéristiques viticoles et œnologiques les plus intéressantes. La vigueur de la vigne ψ est faible et l'arrêt précoce de la croissance favorise une accumulation importante des produits de la photosynthèse dans les raisins au cours de la maturation. Les rendements ψ sont plus faibles mais restent acceptables (environ 9 T/ha). Sur la parcelle en plaine L, le régime hydrique n'est jamais fortement déficitaire et la maturation est moins bonne, surtout en ce qui concerne les constituants de la pellicule. Sur la parcelle N (nappe), le régime hydrique non limitant favorise une forte vigueur et les raisins, peu riches en sucres et en composés phénoliques, ne sont pas susceptibles de produire des vins rouges de qualité.

Finalement, les expérimentations de 1997 permettent également de mettre en évidence la variabilité des conditions d'alimentation en eau dans le vignoble de Némée, due essentiellement à l'hétérogénéité agropédologique des terrains voués à la culture du cépage Saint-Georges. L'apparition d'un déficit hydrique semble jouer un rôle primordial dans le potentiel œnologique des raisins et des vins, même dans les conditions climatiques de la région de Némée, caractérisée par une quasi-absence de pluviosité durant le cycle végétatif de la vigne (et sa faible efficacité : nature orageuse, évaporation directe et ruissellement importants). En outre, l'association de la meilleure constitution des raisins et des vins à des conditions de faible alimentation hydrique montre que l'irrigation ne semble pas souhaitable et elle risque même d'être nuisible sur les terrains de Némée, profonds et à forte réserve hydrique, avec le cépage Saint-Georges (sans que l'on puisse extrapoler cette constatation à d'autres zones viticoles de la région méditerranéenne).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERGER A., 1973. Le potentiel hydrique et la résistance à la diffusion dans les stomates indicateurs de l'état hydrique de la plante. *Actes Coll. Uppsala*, 201-212.

- BEGG J.E. et TURNER N.C., 1976. Crop water deficits. *Adv. Agron.*, **28**, 161-217.
- CARBONNEAU A., 1986. Stress modérés sur feuillage induits par le système de conduite et régulation photosynthétique de la vigne. *Symp. Physiologie de la vigne*, O.I.V., Bordeaux, 378-385.
- CARBONNEAU A., LECLAIR P., DUMARTIN P., CORDEAU J. et ROUSSEL C., 1977. Étude de l'influence du rapport "partie végétative / partie productrice" sur la production et la qualité des raisins. *Connaissance Vigne Vin*, **11**, n°2, 105-130.
- CREASY G.L. et LOMBARD P.B., 1993. Vine water stress and pedoncle girdling effects on pre- and post-veraison grape berry growth and deformability. *Am. J. Enol. Vitic.*, **44**, n°2, 193-197.
- DÜRING H., 1984. Evidence of osmotic adjustment to drought in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Vitis*, **23**, 1-10.
- DÜRING H., 1985. Osmotic adjustment in grapevines. *Acta Hort.*, **171**, 315-322.
- DÜRING H. et LOVEYS B.R., 1982. Diurnal changes in water relations and abscisic acid in field grown *Vitis vinifera* cvs. I. Leaf water potential components and leaf conductance under temperate and semiarid conditions. *Vitis*, **21**, 223-232.
- DUTEAU J., 1984. Influence de quelques facteurs naturels sous le climat océanique du Bordelais sur le poids des grains à maturité (variété Merlot noir). *C.R. d'Act. Institut d'Œnologie 1983-1984*, 86-88.
- DUTEAU J., GUILLOUX M. et SEGUIN G., 1981. Influence des facteurs naturels sur la maturation du raisin en 1979 à Pomerol et Saint-Emilion. *Connaissance Vigne Vin*, **15**, n°1, 1-27.
- FREEMAN B.M., LEE T.H. et TURKINGTON C.R., 1980. Interaction of irrigation and pruning level on grape and wine quality of Shiraz vines. *Am. J. Enol. Vitic.*, **31**, n°2, 124-135.
- GIULIVO C., 1980. Alcuni aspetti fisiologici e produttivi di una serie di combinazioni di innesto in *Vitis vinifera*. *Riv. Vitic. Enol.*, **12**.
- GLORIES Y., 1978. Recherches sur la matière colorante des vins rouges. *Thèse doctorat d'Etat*, Université de Bordeaux II.
- HENDRICKSON A.H. et VEIHMEYER F.J., 1951. Irrigation experiments with grapes. *Calif. Agr. Exp. Sta. Bull.*, **728**, 3-31.
- HSIAO T., SILK W. et JING J., 1985. Leaf growth and water deficits : biophysical effects. In : *control of Leaf Growth, Society for Experimental Biology*. Baker N.R., Davis W.J., Ong C.K., ed., Seminar series 27, Cambridge University Press, Cambridge, 239-266.
- KATERJI N. et HALLAIRE M., 1984. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. *Agronomie*, **4**, n°10, 999-1008.
- KATERJI N., HALLAIRE M., PERRIER A. et DURAND R., 1983. Transfert hydrique dans le végétal. I. Modélisation à l'échelle du couvert végétal en conditions naturelles. *Oecol. Plant.*, **4**, 11-26.
- KLEPPER B., 1968. Diurnal pattern of water potential in woody plants. *Plant Physiol.*, **43**, 1931-1934.
- LOVEYS B.R. et KRIEDEMANN P.E., 1974. Internal control of stomatal physiology and photosynthesis. I. Stomatal regulation and associated changes in endogenous levels of abscisic and phaseic acids. *Austr. J. Plant Phys.*, **1**, 407-415.
- LUDLOW M.M., 1980. *Adaptive significance of stomatal response to water and high temperature stress*. Wiley Inter. Science, New York, 123-138.
- MATTHEWS M.A. et ANDERSON M.M., 1988. Fruit ripening in *Vitis vinifera* L. : responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.*, **39**, n°4, 313-320.
- MONK P.R. et ILAND P.G., 1984. Ion exclusion chromatography of carboxylic acids with conductimetric estimation. *Food Technol. Aust.*, **36**, 18-20.
- PEARSON C.H. et JOLLIFF G.D., 1985. Physiological response of Meadowfoam to crop water deficits. *Agron. J.*, **77**, 422-426.
- RANKINE B.C., 1964. Heat extraction of colour from red grapes for wine. *Austr. Wine Brew. Spirit Rev.*, **82**, 40-42.
- RIBÉREAU-GAYON P., 1970. Le dosage des composés phénoliques totaux dans les vins rouges. *Chim. Anal.*, **52**, n°6, 627-631.
- RIBÉREAU-GAYON P. et STONESTREET E., 1965. Le dosage des anthocyanes dans le vin rouge. *Bull. Soc. Chim.*, **9**, 2649-2652.
- RIBÉREAU-GAYON P. et STONESTREET E., 1966. Dosage des tanins du vin rouge et détermination de leur structure. *Chim. Anal.*, **48**, n°4, 188-196.
- RÜHL E. et ALLEWELDT G., 1985. Investigations into the influence of time of irrigation on yield and quality of grape-vines. *Acta Horticulturae*, **171**, 457-462.
- SCHOLANDER P.F., HAMMEL H.J., BRADSTREET E.D. et HEMMINGSEN E.A., 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, **148**, 339-346.
- SCHULZE E., 1986. Whole-plant responses to drought. In : *Plant Growth and Salinity*, Turner N., Passioura J., ed., CSIRO Australia, 127-141.
- SCHULTZ H.R. et MATTHEWS M.A., 1988. Resistance to water transport in shoots of *Vitis vinifera*. *Plant Physiol.*, **88**, 718-724.
- 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 doctorat d'Etat*, Faculté des Sciences, Université de Bordeaux.
- SEGUIN G., 1975. Alimentation en eau de la vigne et composition chimique des moûts dans les grands crus du

- Médoc. Phénomènes de régulation. *Connaissance Vigne Vin*, **9**, 23-34.
- SMART R. et COOMBE B.G., 1983. Aspects of water relations in grapevines. *In : Kozlowski Water deficits and plant growth, Vol. VII.* Academic Press, New York, 137-195.
- SMART R.E., TURKINGTON C.R. et EVANS G.R., 1974. Grapevine response to furrow and trickle irrigation. *Am. J. Enol. Vitic.*, **25**, 62-66.
- SOYER J.P., MOLOT C., BERTRAND A., GAZEAU O., LOVELLE B.R. et DELAS J., 1996. Influence de l'enherbement sur l'alimentation azotée de la vigne et sur la composition des moûts et des vins. *In : Œnologie 95, Actes 5^e Symp. Inter. Œnologie*, Bordeaux. 15-17 juin 1995, Tec & Doc ed., Paris.
- SPIEGEL-ROY P. et BRAVDO M.B., 1964. Le régime hydrique de la vigne. *Bull. O.I.V.*, **37**, 113-140, 232-248.
- STEINHARDT R., EHLERS W. et VAN DER PLOEG R.R., 1981. Analysis of soil water uptake from a drying loess soil by an oat crop using a simulation model. *Irrig. Sci.*, **2**, 237-258.
- TURNER N.C., 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant Soil*, **58**, 339-366.
- VAADIA Y. et KASIMATIS A.N., 1961. Vineyard irrigation trials. *Am. J. Enol. Vitic.*, **12**, 88-98.
- VAN LEEUWEN C., 1991. Le vignoble de Saint-Emilion : Répartition des sols et fonctionnement hydrique ; incidences sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin. *Thèse Doctorat Nouveau Régime*, Université de Bordeaux II.
- 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 (*Vitis vinifera* L cv. Cabernet franc, Saint-Emilion, 1990). *J. Inter. Vigne Vin*, **28**, n°2, 81-100.
- VAN ZYL J.L., 1984. Response of Colombar grapevines to irrigation as regards quality aspects and growth. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, **5**, 19-28.
- VAN ZYL J.L., 1987. Diurnal variation in grapevine water stress as a function of changing soil water status and meteorological conditions. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, **8**, n°2, 45-52.

Reçu le 15 janvier 1999 ; révisé le 5 août 99
accepté pour publication le 29 octobre 1999.
