

Etude à l'échelle de la plante entière du fonctionnement hydrique et photosynthétique de la vigne: comparaison des systèmes de conduite traditionnel et en Lyre

by

N. KATERJI¹⁾, F. A DAUDET²⁾, A. CARBONNEAU³⁾ et N. OLLAT³⁾

¹⁾ Unité de Bioclimatologie, INRA Centre de Grignon, Thiverval-Grignon, France.

²⁾ Unité Associée de Physiologie Intégrée de l'Arbre Fruitier, INRA Domaine de Crouelle, Clermont-Ferrand, France.

³⁾ Station de Recherches de Viticulture, INRA Centre de Recherches de Bordeaux, Villenave d'Ornon, France.

R é s u m é : Le fonctionnement hydrique et photosynthétique à l'échelle des ceps entiers a été suivi simultanément en milieu naturel sur des vignes étroites traditionnelles et conduites en Lyre. Cette étude a été réalisée sur Cabernet Sauvignon/101-14, planté en sol de graves.

Les observations relatives au comportement hydrique (potentiel hydrique et foliaire, transpiration, par unité de surface foliaire) des deux systèmes de conduite utilisés indiquent que la vigne traditionnelle se trouve dans un meilleur état hydrique comparativement à la vigne conduite en Lyre. Cette différence est en rapport avec les valeurs de l'assimilation nette par unité de surface foliaire, nettement supérieures sur la vigne traditionnelle. Il semble toutefois que l'existence d'une surface foliaire par surface de sol plus importante chez la vigne conduite en Lyre compense le taux réduit de photosynthèse par unité de surface foliaire. Cette compensation conduit à une production agronomique voisine chez les deux systèmes de conduite.

La conclusion principale de cette étude est qu'une contrainte hydrique ayant un effet dépressif sur l'assimilation nette peut avoir, en revanche, des conséquences favorables sur l'élaboration des critères qualitatifs, notamment la synthèse des polyphénols.

Photosynthesis and transpiration studies with traditionally and lyre-trained vines

S u m m a r y : Water and photosynthetic functions on a plant scale were studied simultaneously on traditionally and lyre-shaped grapevines grown in field conditions. The study was carried out on Cabernet Sauvignon/101-14 planted in gravelly soil.

Observations concerning the water behavior (leaf water potential, transpiration per leaf surface unit) of both training systems used indicate that the traditional vine manifests a better water status when compared with the lyre-shaped vine. The difference is in agreement with net photosynthesis values per leaf surface unit, clearly superior on the traditional vine. It seems, however, that the existence of a greater leaf surface per soil surface in the lyre-shaped vine compensates the reduction in photosynthesis per leaf surface. The compensation results in very close agronomical yield for both training systems.

The main conclusion of this study is that a water constraint having a diminishing effect on net photosynthesis can, on the other hand, have favorable consequences on the elaboration of qualitative criteria, in particular, the synthesis of polyphenols.

K e y w o r d s : net assimilation, transpiration, leaf water potential, training system.

Introduction

La structure du feuillage de la vigne définie par le système de conduite et l'orientation des vignobles sont des facteurs déterminants du microclimat du cep (SMART 1973, 1976). Celui-ci par le biais de son action sur le fonctionnement hydrique et photosynthétique du feuillage influe sur la production et sur la maturité du raisin (SHAULIS *et al.* 1966, KLIEWER et LIDER 1970, KRIEDEMANN *et al.* 1973, KLIEWER *et al.* 1989). Le système de conduite est souvent considéré comme un facteur d'importance égale à ceux des principaux facteurs du milieu naturel (CARBONNEAU 1984).

L'influence du système de conduite sur le rayonnement intercepté par la vigne a fait l'objet de nombreuses études (SMART 1976, RIOU *et al.* 1989, SINOQUET *et al.* 1992). A partir d'un modèle décrivant la répartition horaire de l'éclairement en fonction de l'écartement, de la hauteur et de l'orientation des plans de feuillage, SMART (1976) a souligné l'intérêt des orientations Nord-Sud et des vignes

ouvertes (plantations larges). Le modèle développé par RIOU *et al.* (1989) a permis d'abord de calculer la cinétique journalière du rayonnement global absorbé par la vigne étroite (vigne traditionnelle). Par la suite, ce même modèle a été utilisé (VIDEAU 1989) pour comparer la cinétique journalière du rayonnement absorbé par la vigne traditionnelle et la vigne large conduite en Lyre. Les résultats de cette étude indiquent d'abord que les cinétiques journalières du rayonnement absorbé sont similaires pour les deux systèmes de conduite; le rapport rayonnement absorbé/rayonnement incident présente toutefois des différences entre les deux systèmes étudiés. A l'échelle de la journée, ces différences font que la vigne traditionnelle absorbe environ 15 % de moins du rayonnement que la vigne conduite en Lyre.

CARBONNEAU et DE LOTH (1985), ont étudié à partir du modèle de SMART l'effet de l'interception du rayonnement solaire direct résultant de diverses combinaisons d'orientations et d'inclinaisons de plan de feuillage, sur le fonctionnement hydrique et photosynthétique de la vigne. Les

conclusions de leur étude théorique ont été confrontées avec des mesures ponctuelles de résistance stomatique et de photosynthèse réalisées sur des vignes cultivées dans des vases de végétation. Il ressort de cette étude que l'augmentation du rayonnement capté au cours de la journée, s'accompagne d'une diminution des échanges gazeux par suite d'un accroissement de la résistance stomatique et/ou des résistances internes à la fixation du CO_2 . KATERJI *et al.* (1987) ont abouti à des résultats similaires. Ces auteurs ont noté, à partir des mesures ponctuelles des échanges gazeux (H_2O et CO_2) et du potentiel hydrique foliaires réalisées au champ, que la vigne traditionnelle montre un meilleur fonctionnement hydrique et photosynthétique que la vigne conduite en Lyre.

Les résultats précédents, tout en offrant des indications convergentes sur le rôle du système de conduite sur le fonctionnement hydrique et photosynthétique de la vigne restent cependant de portée limitée. Ces résultats en effet s'appuient sur des mesures ponctuelles réalisées pendant 1-2 min à certaines périodes de la journée sur des feuilles placées dans la même situation (bien éclairée, extrémité des rameaux), afin de limiter les hétérogénéités des mesures. Enfin, les plantes étudiées sont parfois peu représentatives du milieu naturel (cas des plantes cultivées dans des vases de végétation).

La nécessité de raisonner en terme d'intégration du fonctionnement à l'échelle de la plante entière est à l'origine de la présente étude. D'une façon plus précise, l'objectif est ici de comparer en milieu naturel le fonctionnement hydrique et photosynthétique des ceps entiers de vigne menés selon deux systèmes de conduite (CARBONNEAU 1980): l'un est traditionnel (vigne palissée étroitement) et l'autre en Lyre (vigne ouverte). Les résultats obtenus dans le cadre de la présente étude, confrontés aux observations agronomiques, permettront ainsi de donner des interprétations et des conclusions plus généralisables concernant le fonctionnement en la vigne en relation avec le système de conduite.

Matériel et méthodes

Les résultats écophysologiques que nous présentons ci-dessous ont été obtenus au cours d'une campagne de mesure de 10 jours (18-27 Juillet 1987) au domaine INRA du Grand Parc à Latresne (Gironde) dans la zone d'Appellation "premières Côtes de Bordeaux". Les données agronomiques ont été obtenues pendant 3 années successives (1985 - 1987).

Matériel végétal et mode de conduite: Le matériel végétal est du Cabernet Sauvignon greffé sur 101/14 planté en 1976 avec conduite traditionnelle et en Lyre sur la même parcelle. La conduite traditionnelle comprend pour chaque pied un plan unique de palissage vertical (Fig. 1 A), tandis que la conduite en Lyre consiste à palisser les ceps de telle sorte que 2 bras maîtres soient formés perpendiculairement au rang. Les ramifications secondaires portées par chacun de ces bras sont attachées sur des fils de fer tendus de part et d'autre du rang sur des supports en biais disposés en V ouvert,

mais les ramifications les plus longues ont tendance à retomber librement dans l'inter-rang donnant à l'ensemble un profil en Lyre caractéristique (Fig. 1 B). Les caractéristiques techniques des systèmes de conduite étudiés sont présentés (Tab. 1). Un individu de chaque système de conduite a été retenu pour le suivi du point de vue des échanges gazeux H_2O et CO_2 . Les deux ceps en question se trouvent dans la même parcelle à une distance de 8 m l'un de l'autre. Pour caractériser l'état hydrique des feuilles, 5 individus voisins d'une même ligne constituant un "lot homogène" (ce qui signifie ici que la variabilité individuelle n'est pas étudiée et qu'en particulier les mesures destructives sont effectuées sur des échantillons de feuilles prélevées sur ces 5 ceps) ont été retenus pour chaque système de conduite.

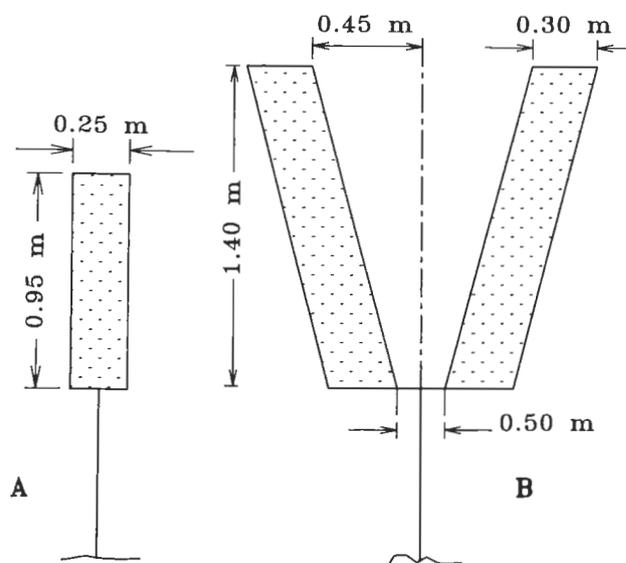


Fig. 1: Coupe transversale schématique d'une vigne traditionnelle (A) et d'une vigne conduite en Lyre (B).

Schematic view of the structure of typical traditional (A) and lyre-shaped (B) grapevines.

Milieu pédoclimatique: Le sol est constitué d'une grave sablo-limoneuse environ 1,80 m de profondeur. Ce type de sol est caractéristique de beaucoup de terrains réservés à la vigne. Un suivi des profils hydriques sur la parcelle retenue a montré que l'ali-

Tableau 1

Caractéristiques techniques des systèmes de conduite étudiés (d'après CARBONNEAU 1980)

Technical characteristics of the training systems studied

	Vigne étroite rognée	Vigne large en lyre ouverte
Ecartement des rangs (m)	1,8	3,6
Espacement le long du rang (m)	1,2	1,2
Longueur du tronc (m)	0,6	0,6
Inclinaison du plan de palissage	vertical	incliné de 15° par rapport à la verticale
Indice foliaire	0,7 - 0,9	1,3 - 1,5

Tableau 2

Données climatiques journalières fournies par la station automatique au cours de la période du 18 au 27 juillet 1987

Daily climatological data provided by the automatic station during July 18-27, 1987

Date	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
T. min (°C)	13.1	12.8	14.7	13.9	13.4	12.8	15.7	16.1	13.3	10.3
T. max (°C)	21.6	21.5	20.8	21.9	24.0	22.5	23.2	24.9	22.7	20.7
Rg (Mj.m ⁻² .j ⁻¹)	24.8	20.3	13.3	1.1	17.8	10.7	13.9	18.5	24.8	11.9
Pluie (mm)	1.5	2.5	0	1.5	0	7.5	1.5	0	0	0

mentation en eau des vignes semble se faire essentiellement pour les premiers 1,20 m de profondeur (KATERJI *et al.* 1987).

Le climat, de type océanique, est caractérisé par des orages estivaux. Les données climatiques journalières sont recueillies par une station météorologique automatique située sur le domaine. Le Tab. 2 les présente pour la période d'étude, on note que la période en question est assez pluvieuse et que les températures sont plutôt douces.

Mesure des échanges gazeux : Nous avons utilisé deux chambres d'assimilation et de transpiration du type CAT dont le principe a été décrit par DAUDET (1987). Il s'agit d'un système fonctionnant en circuit ouvert (avec un léger enrichissement en CO₂) destiné à l'étude

in situ d'échantillons végétaux relativement volumineux; le débit général d'air traversant la chambre (enceinte en film polyéthylène mince), de l'ordre de 3 à 4 m³/min assure un taux de renouvellement suffisamment élevé pour minimiser les effets de serre. Dans le cas présent, à cause des fils de palissage de la vigne (qui sont restés en place), l'enceinte a dû être munie d'une fermeture spéciale (VELCRO + ruban adhésif double face). Outre les échanges gazeux (assimilation nette et transpiration) ce système mesure en continu le rayonnement global incident (pile solarimétrique de Kipp) ainsi que la température et l'humidité de l'air à l'entrée et à la sortie de l'enceinte. Après un calcul des moyennes sur les périodes d'environ 3 min les données sont stockées sur disquette magnétique. Dans la plupart des cas, nous présenterons cependant, par souci de lisibilité, des résultats correspondant à un regroupement de 30 min de ces périodes élémentaires.

Les ceps sélectionnés de chaque système de conduite ont été étudiés simultanément. Leur feuillage était entièrement placé dans l'enceinte (Fig. 2). Le volume de l'enceinte pour la Lyre entière était approximativement de 1 m³ alors qu'il n'était que de 0,4 m³ pour la vigne traditionnelle. Dans les 2 cas, le débit de l'air traversant l'enceinte était de l'ordre de 3 m³/min.

Mesure du potentiel hydrique foliaire : Des mesures horaires de potentiel foliaire ont été également effectuées sur des feuilles placées dans la même situation (bien éclairées, extrémité du rameau) simultanément sur les vignes traditionnelles et sur les vignes conduites en Lyre. Six feuilles sont prélevées dans chaque situation étudiée et leur potentiel est immédiatement mesuré dans une chambre à pression (SCHOLANDER *et al.* 1965).

Mesure de la surface foliaire : Les surfaces foliaires totales des deux ceps suivis du point de vue des échanges gazeux ont été déterminées. La méthode non destructive retenue est celle proposée par CARBONNEAU (1976 a et b). Sur les deux ceps étudiés, les surfaces étaient respectivement de 2,31 m² et 5,96 m² pour les ceps traditionnels et conduits en Lyre. L'erreur affectant ces mesures est estimée à environ 5 % (CARBONNEAU 1976 b).

Observations agronomiques : Sur les vignes de chaque système de conduite, les mesures suivantes ont été réalisées: Poids de récolte en raisin exprimé en t/ha. Le degré d'alcool du vin. Le pH du vin. La teneur en anthocyanes. L'indice de Folin du vin.

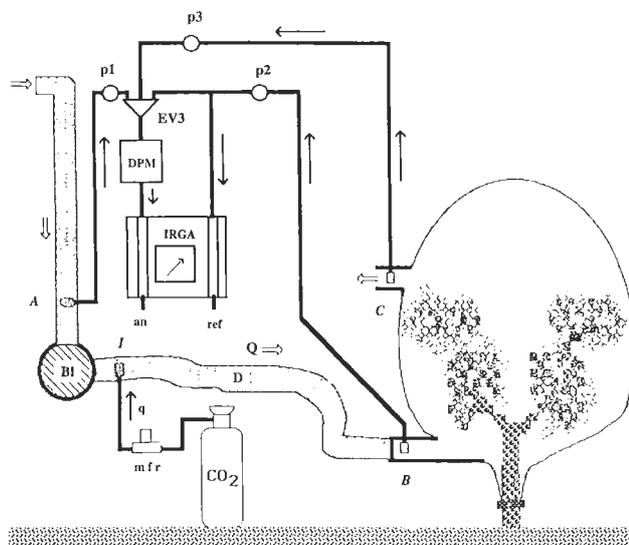


Fig. 2: Schéma de principe du système pour mesurer les échanges gazeux sur des vignes entières. mfr: Régulateur de débit massique pour l'injection de CO₂. IRGA: Analyseur différentiel de CO₂. DPM: Hygromètre à point de rosée. EV3: Ensemble d'électrovannes trois voies. P1,P2,P3: Pompes d'échantillonnage. A, B, C: Points de prélèvement d'air pour analyse. B1: Soufflerie principale.

Schematic view of the system for measuring the gas exchange rates of grapevine. mfr: Mass flow regulator for pure CO₂ injection. IRGA: IR CO₂ gaz analyser (used in a differential mode). DPM: Dew point meter. EV3: Multiple 3-way electrovalves used to monitor the air samples. P1,P2,P3: Sampling pumps; A, B, C: Points of sampling for air analysis. B1: Main blower.

Résultats

Transpiration et photosynthèse des ceps entiers au cours de journée: La Fig. 3 (a, b et c) présente (à titre d'exemple pour la journée du 22/7) l'évolution du rayonnement global incident, de l'assimilation nette et celle de la transpiration mesurées simultanément sur des ceps entiers conduits en Lyre et en traditionnel et exprimées par unité de surface foliaire. Cette journée très représentative de la période d'observation correspond à une situation de temps variable caractérisé par des passages nuageux. On note d'abord que les cinétiques de transpiration et de l'assimilation nette suivent parfaitement la cinétique du rayonnement global. Les taux de transpiration et de l'assimilation rapportés à la surface foliaire sont toutefois nettement supérieurs pour le système traditionnel par rapport à la conduite en Lyre.

Etat hydrique des feuilles au cours de la journée: La Fig. 4 présente pour 3 journées successives (25, 26 et 27/7) les valeurs du potentiel hydrique foliaire mesurées simultanément sur les deux systèmes de conduite ainsi que les valeurs du rayonnement global incident. Il convient de préciser que les mesures de potentiel foliaire réalisées au cours de la journée du 26/7 ont été poursuivies tard pendant la nuit puis ont repris la journée suivante avant le lever du soleil, afin de déterminer avec précision le potentiel de base.

Les données du potentiel de base relevées sur les deux systèmes de conduite sont identiques et présentent des valeurs particulièrement élevées (-0,1 MPa) ce qui indique que les vignes étudiées se trouvent dans des conditions hydriques favorables.

Les potentiels hydriques foliaires observés sur les deux systèmes de conduite en phase diurne présentent des cinétiques identiques, toutefois les valeurs observées sur

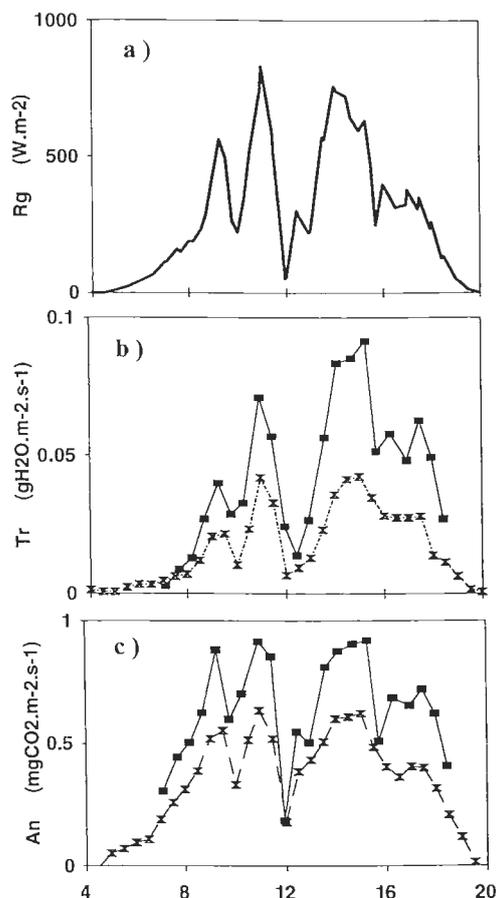


Fig. 3: Evolution au cours de la journée du 22 juillet 1987: du rayonnement global (a), de la transpiration (b) et de l'assimilation nette (c) déterminés par unité de surface de feuille sur des ceps entiers conduite en lyre (X) et traditionnelle (■).

Diurnal pattern of solar radiation (a), transpiration (b) and net assimilation (c) determined per unit of leaf area, as measured on July 22nd on lyre (X) and traditionally trained (■) grapevines.

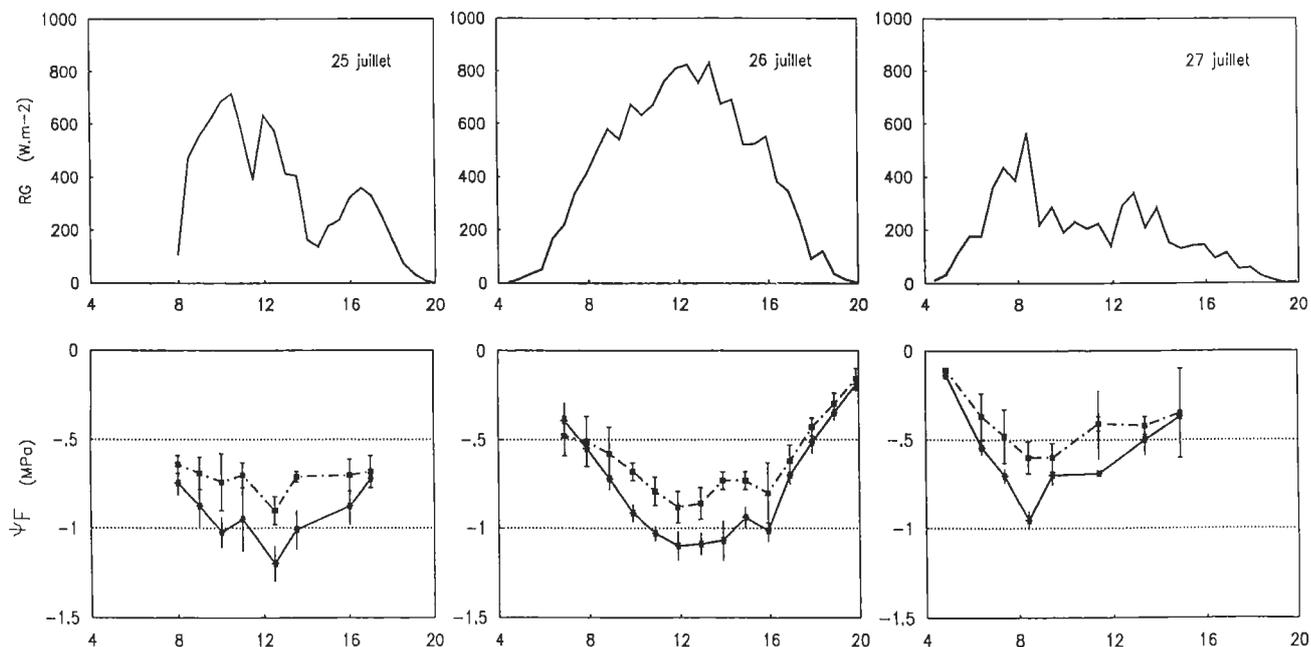
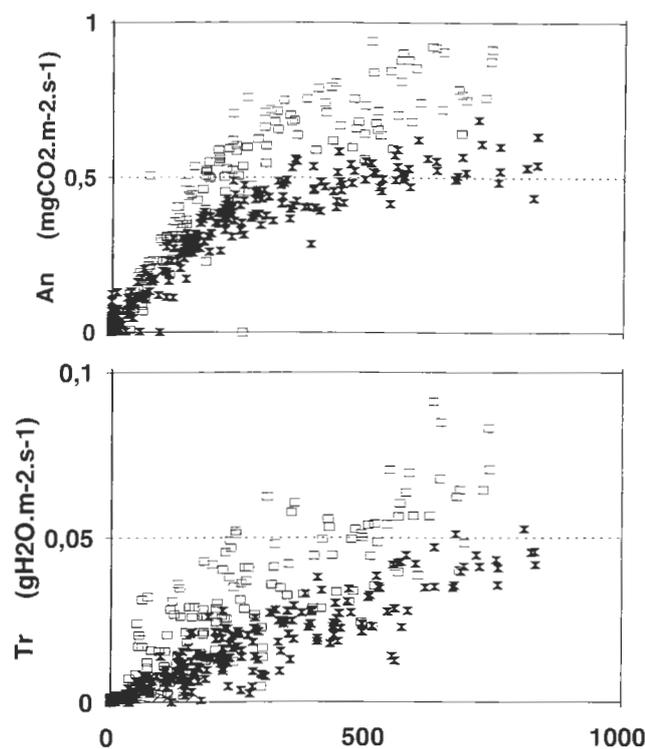


Fig. 4: Valeurs horaires du rayonnement global (RG) et du potentiel hydrique foliaire ψ mesurées sur des ceps conduite en lyre (X) et traditionnelle (■) pendant trois journées consécutives (du 25 au 27 juillet 1987).

Hourly values of solar radiation (RG) and mean leaf water potential (ψ) of lyre (X) and traditionally trained (■) grapevines during three consecutive days (from July 25th to July 27th 1987).

la vigne conduite en Lyre sont systématiquement inférieures aussi bien pendant les journées de temps variable (25 et 27/7) que pendant la journée de beau temps (26/7).

Assimilation nette et transpiration en relation avec le rayonnement global absorbé: Les Figs. 5 et 6 montrent la réponse, pendant toute la période d'observation de l'assimilation nette et de la transpiration, exprimées par unité de surface foliaire, au rayonnement global absorbé par les vignes traditionnelles et conduite en Lyre. Le phénomène le plus intéressant est la réponse très inférieure de la transpiration et de l'assimilation nette observée sur la vigne conduite en Lyre par rapport à la vigne traditionnelle lorsqu'on considère les échanges gazeux par unité de surface du sol (Fig. 7), on constate que la réponse de la transpiration et de l'assimilation nette au rayonnement global est similaire chez les deux systèmes de conduite étudiés.



Figs. 5 et 6: Réponse de l'assimilation nette (An) et de la transpiration (Te) mesurée par unité de surface foliaire sur des ceps entiers conduite en lyre (X) et traditionnelle (□) au rayonnement global (Rg). Chaque point représente la moyenne des mesures élémentaires réalisées pendant 30 min au cours de la période de mesure (du 18 au 27 juillet 1987).

Mean net assimilation (An) and leaf transpiration (Tr) response to incident solar radiation (Rg) for lyre (X) and traditionally trained (□) grapevines. Each point represents the average of 30 min elementary periods within the whole period of measurement (from July 18th to 27th 1987).

Efficiencia de l'eau à l'échelle des ceps entiers: L'étude de l'efficiencia de l'eau se fait en analysant la relation entre transpiration et photosynthèse déterminée par unité de surface foliaire. La Fig. 8 montre

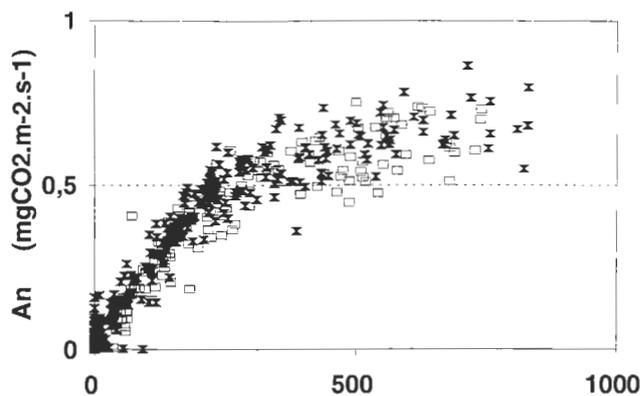


Fig. 7: Réponse de l'assimilation nette (An) mesurée par unité de surface du sol sur des ceps entiers conduite en lyre (X) et traditionnelle (□) au rayonnement global (Rg). Chaque point représente la moyenne des mesures élémentaires réalisées pendant 30 min au cours de la période de mesure (du 18 au 27 juillet 1987).

Net assimilation response per unit of soil area to incident solar radiation for lyre (X) and traditionally trained (□) grapevines. Each point represents the average of 30 min elementary periods within the whole period of measurement (from July 18th to 27th, 1987).

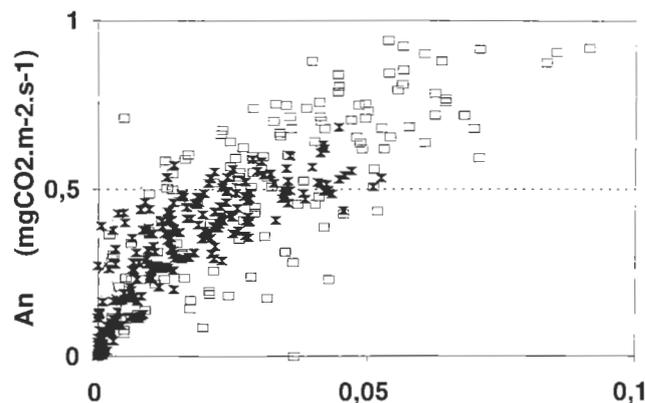


Fig. 8: Relation entre les valeurs mesurées par unité de surface foliaire de l'assimilation nette (An) et de la transpiration (Tr) sur des ceps entiers conduite en lyre (X) et traditionnelle (□). Chaque point représente la moyenne des mesures élémentaires réalisées pendant 30 min au cours de la période de mesure (du 18 au 27 juillet 1987).

Relation between the mean net assimilation and transpiration rates per unit of leaf area for lyre (X) and traditionally trained (□) grapevines. Each point represents the average of 30 min elementary periods within the whole period of measurement (from July 18th to 27th 1987).

cette relation pour les deux ceps étudiés. On note que la relation transpiration-photosynthèse est similaire et que le système de conduite ne semble pas modifier l'efficiencia de l'eau chez la vigne.

Observations agronomiques: Les observations agronomiques sont présentées dans le Tab. 3. Il ressort globalement que les niveaux de production sont assez semblables chez les deux systèmes de conduite. La vigne en Lyre tend toutefois à améliorer légèrement le degré

Tableau 3

Résultats obtenus sur la parcelle étudiée concernant la production des vignes et la qualité du vin

Results obtained on the plot studied with regard to grape production and wine quality

Charge Millésime	45.000 bourg/ha 1985		45.000 bourg/ha 1986		40.000 bourg/ha 1987	
	R	L	R	L	R	L
Conduite						
Production (t/ha)	10,8	10,9	10,8	10,5	6,7	6,0
Degré d'alcool du vin (chaptalisation incluse)	12°4 1°	12°4 1°	12°3 0,8°	12°8 0,8°	11°9 1°	12°1 1°
pH du vin	3,41	3,36	3,41	3,52	3,53	3,54
Anthocyanes du vin (mg/l)	407	529	394	474	546	609
Indice de Folin du vin	34,2	40,0	29,8	40,6	38,9	41,8

alcoolique, ne modifie pratiquement pas le pH, mais possède en revanche un effet positif non négligeable sur les anthocyanes et l'indice de Folin du vin.

Discussion et conclusion

Les observations relatives au comportement hydrique et photosynthétique (taux de transpiration et d'assimilation nette, potentiel hydrique foliaire) en relation avec les systèmes de conduite, semblent indiquer que les vignes traditionnelles se trouvent dans un meilleur état de fonctionnement comparativement aux vignes conduites en Lyre. Ces résultats observés à l'échelle des ceps entiers convergent donc avec les observations similaires réalisées à l'échelle des feuilles et signalées dans un travail précédent (KATERJI *et al.* 1987). Trois explications peuvent être avancées pour interpréter cette différence de comportement:

- L'existence d'une surface foliaire réduite par cep et aussi par surface du sol dans le cas des vignes traditionnelles, ce qui permet à chaque feuille d'être mieux alimentée en eau. Tandis que la vigne conduite en Lyre, qui présente une surface foliaire plus importante et plus exposée, utilise l'eau du sol plus rapidement (SMART 1988).

- L'existence d'un frein au trajet de la sève brute chez la vigne conduite en Lyre constitué par la longueur de la charpente (ZHANG 1989).

- L'existence d'une meilleure distribution du système racinaire dans le cas de la vigne traditionnelle conséquence d'une forte densité de plantation (ARCHER et STRAUSS 1989). Toutefois, d'après les observations de CARBONNEAU et CASTERAN (1989), il semble qu'il y a peu de différence concernant le système racinaire entre les deux systèmes de conduite.

Les conclusions sur le comportement des vignes obtenues dans le cadre de la présente étude ne permettent en principe qu'une compréhension du fonctionnement instantané. En effet, le caractère limité de la période d'observation rend difficile l'obtention de conclusions fiables au niveau de l'explication complète de la production, toutefois les résultats agronomiques obtenus pendant plusieurs années permettent d'amorcer les raisonnements suivants:

- L'existence d'une surface foliaire par surface du sol plus importante chez la vigne conduite en Lyre compense le taux réduit de photosynthèse par unité de surface foliaire. Cette compensation, que nous avons observé Fig. 7. conduit à une production agronomique voisine chez les deux systèmes de conduite (cf. Tab. 3).

- La vigne conduite en Lyre permet d'atteindre une qualité meilleure que la vigne traditionnelle comme le montre les observations réalisées sur la teneur en anthocyanes et les composés phénoliques. Cette situation favorable pour la qualité constatée lors des dégustations (CARBONNEAU 1990) a été expliquée par l'existence d'un stress modéré chez les vignes larges qui exposent davantage leur feuillage au rayonnement. Cette explication semble en accord avec les résultats observés dans cette étude et ceux mentionnés dans la littérature (SEGUIN *et al.* 1981, FREEMAN 1983, BRAVDO *et al.* 1985, MATTEWS et ANDERSON 1988).

SMART (1985) a développé une argumentation selon laquelle dans les régions à faible évapotranspiration et forte précipitation, les systèmes de conduite large qui présentent des surfaces foliaires plus exposées constituent, par les stress qu'ils induisent, des atouts importants pour aboutir à des situations favorables pour la qualité. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude cautionnent une telle argumentation.

Références

- ARCHER, E.; STRAUSS, H. C.; 1989: The effect of plant spacing on water status of soil and grapevines. *S. Afr. J. Enol. Viticult.* **10**, 49-53.
- BRAVDO, B.; HEPNER, Y.; LOPIGNER, C.; COHEN, S.; TABACMAN, H.; 1985: Effect of irrigation and crop level on growth, yield and wine quality of Cabernet-Sauvignon. *Amer. J. Enol. Viticult.* **36**, 2.
- CARBONNEAU, A.; 1976 a: Principes et méthodes de mesure de la surface foliaire. Essais de caractérisation des types de feuilles dans le genre *Vitis*. *Ann. Amélior. Plantes* **26**, 327-343.
- -: 1976 b: Analyse de la croissance des feuilles du sarment de vigne: Estimation de sa surface foliaire par échantillonnage. *Connaiss. Vigne Vin* **10**, 141-159.
- -: 1980: Recherches sur les systèmes de conduite de la Vigne: essai de maîtrise du microclimat et de la plante entière pour produire économiquement du raisin de qualité. Thèse Univ. de Bordeaux II, France.
- -: 1984: Place du microclimat de la partie aérienne parmi les facteurs déterminant les productions viticoles. *Bull. O.I.V.* **57**, 640-644.

- ; 1990: Mécanismes généraux de l'influence du système de conduite sur la qualité des vins. Intérêt qualitatif et économique des vignes en lyre: Premières indications de leur comportement en situation de vigueur élevée. Atti Accad. Ital. Vite Vino, 325-346.
- ; CASTERAN, P.: 1989: Ecophysiologie du système de conduite. Intérêt des vignes en lyre pour la production et la qualité du vin. Système de conduite de la vigne et mécanisation. O.I.V. Ed. Paris, 49-65.
- ; DE LOTH, C.: 1985: Influence du régime d'éclairement journalier sur la résistance stomatique et la photosynthèse brute chez *Vitis vinifera* L. cv. "Cabernet-Sauvignon". Agronomie 5, 631-638.
- DAUDET, F. A.: 1987: Un système simple pour la mesure *in situ* des échanges gazeux de couverts végétaux de quelques mètres carrés de surface. Agronomie 2, 133-139.
- FREEMAN, B. M.: 1983: Effects of irrigation and pruning of Shiraz grapevines on subsequent red wine pigments. Amer. J. Enol. Viticult. 34, 23-26.
- KATERJI, N.; CARBONNEAU, A.; DELAS, J.: 1987: Etude du fonctionnement hydrique et photosynthétique de deux systèmes de conduite de la Vigne au cours d'un cycle de dessèchement édaphique à la véraison pour du Cabernet-Sauvignon planté en graves sèches. 3ème Symp. Intern. Physiol. Vigne, Bordeaux, O.I.V., 386-389.
- KLIEWER, W. M.; LIDER, L. A.: 1970: Effects of day temperature and light intensity on growth and composition of *Vitis vinifera* L. fruits. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95, 766-769.
- ; MAROLS, J. J.; BLEDSOE, A. M.: 1988: Relative effectiveness of leaf removal, shoot positioning and trellising for improving vinegrape composition. Proc. 2nd Intern. Cool Climate Viticult. Oenol., Auckland, New-Zealand, January 1988, 123-125.
- KRIEDEMANN, P. E.; TOROKFALVY, E.; SMART, R. E.: 1973: Natural occurrence and photosynthetic utilisation of sunflecks by grapevine leaves. Photosynthetica 7, 18-27.
- MATTHEWS, M. A.; ANDERSON, M. M.: 1988: Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to seasonal water deficits. Amer. J. Enol. Viticult. 39, 313-320.
- RIOU, C.; VALANCOGNE, C.; PIERI, P.: 1989: Un modèle simple d'interception du rayonnement solaire par la vigne. Vérification expérimentale. Agronomie. 9, 441-450.
- SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A.: 1965: Sap pressure in vascular plants. Science 148, 339-346.
- SEGUIN, G.; DUTEAU, J.; GUILLoux, M.: 1981: Influence des facteurs naturels sur la maturation du raisin en 1979, à Pomerol et Saint-Emilion. Conn. Vigne Vin 15, 1-27.
- SHAULIS, N. J.; AMBERG, H.; GROWE, D.: 1966: Response of concord grapes to light, exposure and geneva double curtain training. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 89, 268-280.
- SNOQUET, H.; VALANCOGNE, C.; LESCURE, A.; BONHOMME, R.: 1992: Modélisation de l'interception des rayonnements solaires dans une culture en rangs. III. Application à une vigne traditionnelle. Agronomie 12, 307-318.
- SMART, R. E.: 1973: Sunlight interception by vineyards. Amer. J. Enol. Viticult. 24, 141-147.
- ; 1976: Implications of the radiation microclimate for productivity of vineyards. Ph. D. Thesis, Cornell Univ., Ithaca, NY, USA.
- ; 1985: Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implication for yield and quality. A review. Amer. J. Enol. Viticult. 36, 230-239.
- VIDEAU, J. D.: 1989: Etude de la consommation d'eau de la vigne en fonction des conditions climatiques: Effets du système de conduite et de la sécheresse. Mémoire de fin d'Etude, INA-PG, 83.
- ZHANG, D. P.: 1987: Conséquences physiologiques de la taille de la Vigne: Structure conductrice du vieux bois; autorégulation de croissance et régime hydrique selon divers types de taille mécanisables. Thèse Univ. de Bordeaux II, France.

Reçu le 11 Février 1994