Vitis 33, 109-115 (1994)

Consommation d'eau de la vigne en conditions hydriques non limitantes. Formulation simplifiée de la transpiration

par

C. Riou[1]), P. Pieri[1]) et B. Le Clech[2])

[1]) Centre INRA, Laboratoire de Bioclimatologie, Villenave d'Ornon, France
[2]) E.N.I.T.A., Gradignan, France

R é s u m é : La modélisation géométrique de la vigne, utilisée pour l'interception du rayonnement solaire (Riou *et al.* 1989) est d'abord reprise pour évaluer les bilans radiatifs de la vigne et du sol intercalaire. La vérification expérimentale est satisfaisante.

Après une période pluvieuse, les différents flux du bilan d'énergie du vignoble sont ensuite mesurés, notamment grâce à la méthode des corrélations tourbillonnaires tandis que la transpiration de la vigne seule est obtenue par une mesure de flux de sève (Valancogne et Nasr 1993).

Trois grandeurs concernant la vigne elle-même restent proches: le taux de transpiration par rapport à l'évaporation totale , le taux d'absorption du rayonnement net par rapport au bilan radiatif total et le taux d'absorption du rayonnement solaire par rapport au rayonnement global absorbé par le vignoble; une simulation montre que ces deux derniers taux restent voisins quand la distance entre rangs varie. L'évapotranspiration maximum étant finalement exprimée correctement par la formule de Penman (1948), ces résultats conduisent à proposer une formulation simple de la transpiration de la vigne en conditions hydriques non limitantes.

Water use of grapevines well supplied with water. Simplified expression of transpiration

S u m m a r y : A model of solar radiation interception by a vineyard canopy from simple geometrical assumptions (Riou *et al.* 1989) is first extended into a model of the whole radiative balance of the vine rows and of the intervening soil surface; experimental validation is excellent. After a rainy period, the various fluxes taking part in the energy balance of a vineyard canopy were measured, among which total evapotranspiration by an eddy correlation technique, and vine transpiration from a sap-flow estimation (Valancogne et Nasr 1993).

Three partition rates quantifying the exchanges of the vines alone remain noticeably close to each other: those of transpiration over total evapotranspiration, of absorbed net radiation over overall radiative balance, and of intercepted global radiation over global radiation intercepted by the whole canopy. From a simulation, evidence is provided these two latter rates are still hardly distinguishable when the row spacing is changed. As maximum evapotranspiration is quite correctly expressed by the Penman formula, these results lead to the proposal of a simple method for estimating transpiration of grapevines well supplied with water.

K e y w o r d s : water use, water balance, evapotranspiration, transpiration, solar radiation, net radiation, trellis system, row spacing, row geometry.

Introduction

Pour les couverts végétaux non couvrants et à fort développement vertical, dont les vignobles font partie, l'évapotranspiration est plus difficile à mesurer et à modéliser que dans le cas des couverts homogènes à faible rugosité. Le premier cas cumule en effet plusieurs difficultés:

- Une interception de l'énegie solaire variable selon la position du soleil et la géométrie du couvert.

- Une turbulence du vent, de la température et de l'humidité perturbée par l'hétérogénéité du volume représenté par l'ensemble de la culture; on trouve des effets directionnels, où la pénétration du vent diffère suivant son orientation, des vortex, de durée de vie variable, engendrés par les structures périodiques, des alternances de confinement et de renouvellement de l'air entre les rangs etc ... (Pieri 1989 et 1991).

- La présence de zones contributives des flux dont l'importance varie dans le temps et dans l'espace: la vigne et le sol intercalaire, les différentes faces de la vigne etc ...

Ces difficultés expliquent que soit privilégiée dans la mesure des flux la méthode des corrélations tourbillonnaires; les relations flux-profils sont complexes et inadéquates; la mesure de la variation du stock d'eau du sol est difficile et discutable: profondeur exploitée par les racines difficile à évaluer, forte hétérogénéité de l'humidité du sol, présence en général de nombreux et importants éléments grossiers, variation de l'humidité près de la surface malaisée à obtenir.

Dans toutes ces méthodes, c'est finalement le flux total d'eau consommée qui est approché, alors qu'on peut être amené à vouloir connaître la contribution de la vigne seule; dans ce cas, seules les mesures du flux de sève fournissent les données souhaitées.

Le système constitué par la vigne et le sol intercalaire

Correspondance à: Mr. C. Riou, INRA, Laboratoire de Bioclimatologie, 71, Avenue Edouard Bourleaux, B.P. 81, F-33883 Villenave d'Ornon cedex, France

peut être étudié dans trois situations différentes, pouvant se succéder après une période de pluies.

a. La vigne dispose d'un stock d'eau sufisant dans le sol et l'humectation de celui-ci crée un système qui évapore par toutes les surfaces d'échange; (on négligera le cas de l'évaporation directe des feuilles et des tiges recouvertes d'une pellicule d'eau). On peut alors parler d'évapotranspiration maximum du vignoble et si la vigne est bien développée de son évapotranspiration potentielle.

b. L'assèchement du sol en surface entraîne une chute de son évaporation alors que la vigne continue à disposer d'eau grâce à ses racines. Au bout d'une période de quelques jours, seule la vigne peut consommer de l'eau en maintenant sa transpiration à son maximum.

c. Si l'épisode sec se prolonge, la consommation de la vigne peut être affectée à son tour par un stock d'eau insuffisant dans le sol et différentes régulations peuvent intervenir pour faire descendre la transpiration de la vigne en dessous de son taux maximum.

On se limitera ici à l'étude des deux premiers stades, en essayant de se placer dans les conditions où l'évaporation du sol et celle de la vigne peuvent être considérées comme maximum et, la vigne ayant atteint son plein développement, comme potentielles. On étudiera en particulier la transpiration maximum de la vigne obtenue par la mesure de débit de sève et on la comparera à l'évapotranspiration potentielle totale du vignoble.

Le plan suivi par cet article est le suivant:

1. On rappellera d'abord le type de modélisation utilisé pour évaluer l'interception du rayonnement solaire par la vigne (Riou *et al.* 1989).

2. On conservera les hypothèses sur la modélisation géométrique du feuillage pour établir un modèle de bilan radiatif prenant en compte séparément les deux surfaces d'échange: vigne et zone intercalaire. Ce modèle sera comparé aux mesures dans le cas d'un vignoble traditionnel de la région de Bordeaux.

3. On mesurera les diférents flux composant le bilan d'énergie: chaleur latente, chaleur sensible dans l'air (convection), chaleur sensible dans le sol (conduction), transpiration de la vigne (débit de sève).

4. A partir de ces données on proposera une évaluation de la consommation d'eau de la vigne elle-même, en conditions hydriques non limitantes, en utilisant comme paramètres significatifs les taux d'utilisation de l'énergie rayonnante par le feuillage.

Modèle d'interception de l'énergie solaire

Ce modèle (Riou *et al.* 1989) validé expérimentalement considère une rangée de vigne comme un parallélépipède de longueur illimitée dont les faces horizontales sont pleines et les faces verticales poreuses; ces dernières laissent passer une part de l'énergie incidente, qu'on appelle la porosité. Le modèle tient compte de l'énergie réfléchie par le sol. Les variables d'entrée sont les valeurs des rayonnements global et diffus, et le modèle calcule en fonction de différents paramètres (position du soleil, géométrie du couvert, albédos du sol et des feuilles), l'énergie absorbée par la vigne, par le sol et l'énergie réfléchie par l'ensemble sol-vigne.

Le tableau suivant fournit les taux journaliers d'absorption par la vigne et par le sol (Rgv, Rgs) et de réflexion (Rr) de l'énergie incidente dans le cas d'une vigne Nord-Sud, de 0,3 m de large, 0,90 m de hauteur pour le feuillage, avec une porosité latérale de 0,33. Le rayonnement solaire global Rg est celui d'une belle journée à Bordeaux, le 20 août. La distance entre les rangs, D est une variable du tableau.

D (m)	Rgv/Rg	Rgs/Rg	Rr/Rg
0,9	0,62	0,21	0,17
1,2	0,54	0,30	0,16
1,5	0,47	0,38	0,15
1,8	0,42	0,43	0,15
2,1	0,37	0,48	0,15
2,4	0,33	0,52	0,15
3,0	0,29	0,56	0,15

Les simulations faites pour différentes dates, de juin à septembre, avec cette même vigne et une distance entre rangs de 1,8 m, montrent que le rapport Rgv/Rg varie peu, passant de 0,40 à 0,42; il varie davantage dans le cas de rangs orientés Est-Ouest passant alors de 0,31 à 0,46.

Modèles de bilans radiatifs

Principe: Le modèle reprend les hypothèses faites pour évaluer l'interception du rayonnement solaire; il considère deux températures pour les surfaces d'échange: Ts: température moyenne du sol; Tf: température moyenne du feuillage. L'émissivité des feuilles et celle du sol sont supposées être toutes deux de 0,96.

La modélisation est alors purement géométrique, c'est celle d'un parallélépipède creux dont les faces latérales ont une certaine porosité; les faces internes du volume ont une température égale à celle de l'air environnant Ta.

Les évaluations finales sont des polynomes de la forme: $Rn \text{ absorbé} = Ca\,Ra + Cs\,\sigma\,Ts^4 + Cf\,\sigma\,Tf^4 + Ci\,\sigma Ta^4$

Les coefficients Ca, Cs, Cf et Ci sont des facteurs de différents paramètres: dimensions de la vigne, émissivités, porosité, coefficients d'interception par la vigne du rayonnement diffus dus à l'interception directe de l'énergie radiative du ciel, et à la transmission par les rangs voisins; Ra est le rayonnement atmosphérique.

Le modèle calcule le rayonnement net (Rn) absorbé par l'ensemble vigne+sol et les rayonnements nets absorbés par chacune des surfaces d'échange (Rnv, Rns).

Mesure des rayonnements nets - Validation du modèle: La mesure des rayonnements nets est faite sur une vigne traditionnelle de la région des Graves près de Bordeaux; les caractéristiques de la vigne sont les suivantes:

Largeur du feuillage: 0,35 m; hauteur du feuillage Hf: 1,2 m; hauteur totale: 1,6 m; écartement des rangs D:

2 m; écartement des pieds sur la ligne: 1 m (chaque pied occupe 2 m²). Orientation par rapport à la direction Nord orientée vers le Sud -27° (le sens positif étant le sens trigonométrique).

Le sol est un sol typique de Graves, sableux avec beaucoup d'éléments grossiers. Les températures des surfaces d'échange sont mesurées par un radiothermomètre portable infrarouge et les températures de l'air par un thermocouple cuivre-constantan placé dans une tuyère ventilée installée le long d'une face verticale d'un rang, à 1 m de haut.

Le rayonnement global et l'albédo du vignoble sont mesurés en permanence grâce à des pyranomètres installés sur un mât, à 6 m de haut. Un pyrradiomètre différentiel est placé à côté des pyranomètres; 5 autres sont installés à 27 cm de haut sur un dispositif mobile se déplaçant le long d'un rail de 12 m, parallèle aux rangs et réalisant un aller-retour en 12 min. Les distances des appareils, mesurées depuis le rang Est sont: 11, 52, 98, 152 et 184 cm. Cet ensemble évite de donner trop d'importance à l'hétérogénéité locale de la vigne.

L'humidité de l'air est obtenue par deux thermocouples, l'un sec, l'autre humide, placés dans une tuyère ventilée à 4,75 m de haut. La vitesse horizontale du vent est mesurée par un anémomètre à coupelle, à impulsions, placé à la même altitude.

Le rayonnement atmosphérique est calculé par la formule d'Idso et Jackson (1969), corrigée à l'échelle horaire (Arnfiels 1979). La température moyenne du sol est obtenue en faisant la moyenne arithmétique de 6 mesures équidistantes sur une transversale; la température moyenne du feuillage est la moyenne arithmétique des mesures effectuées sur les deux faces verticales (l'une à l'ombre, l'autre au soleil la plupart du temps).

La comparaison entre valeurs mesurées et calculées est satisfaisante. Les points des Fig. 1 a-c correspondent à des valeurs horaires; la dispersion est un peu plus forte dans le cas du rayonnement net absorbé par la vigne.

Comparaison entre les taux d'absorption du rayonnement global et du rayonnement net: Grâce aux modèles d'absorption du rayonnement solaire par la vigne et aux modèles précédents on peut simuler les différentes valeurs rencontrées en fonction de l'écartement, comme cela a déjà été mentionné dans le tableau (voir ci-dessus).

La simulation a été faite ici pour la vigne utilisée dans l'expérimentation mentionnée plus haut. Les valeurs journalières d'énergie solaire et d'énergie radiative totale absorbées par la vigne ont été calculées et exprimées en taux d'énergies totales absorbées, soit Rgv/[(1-a)Rg] et Rnv/Rn.

Le calcul a été fait pour différents écartements (D/Hf) des rangs et la Fig. 2 montre les estimations de ces deux fractions; celles-ci restent très proches tant que le rapport D/Hf ne tombe pas au-dessous de 1, soit quand le taux d'absorption par la vigne n'est pas supérieur à 66% de l'énergie totale absorbée. Dans ces simulations on a conservé les valeurs des températures rencontrées dans

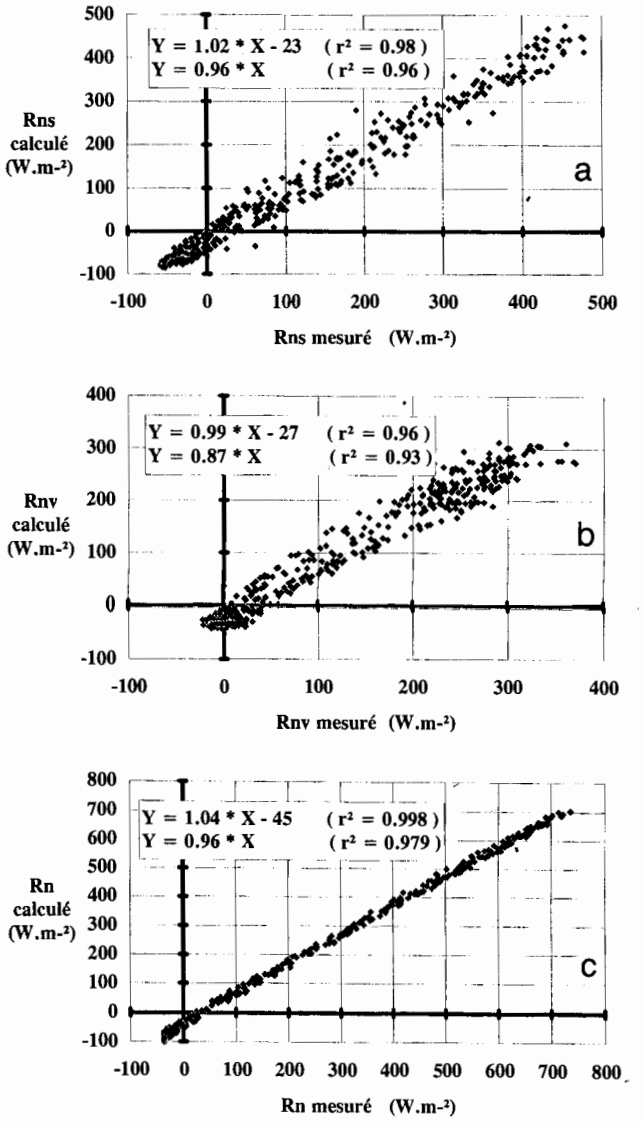


Fig. 1: Relations entre rayonnements nets absorbés calculés et mesurés pour le sol (a), pour les rangs de vigne (b) et pour l'ensemble du vignoble (c). dt = 30 min. Données de 13 d de l'été 1993, comprenant des situations de ciel clair, d'ennuagement partiel et de rayonnement diffus prédominant. En cartouche, résultats des régressions linéaires sur les mêmes données (n = 551).

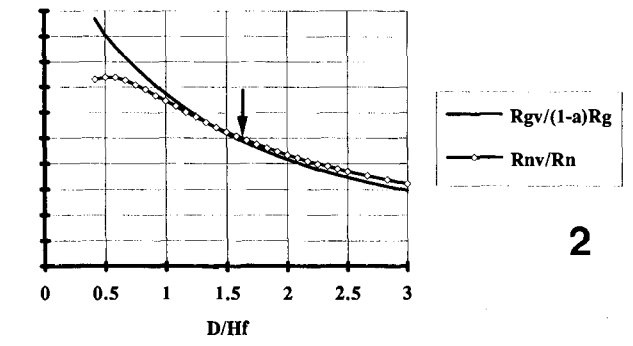
Relationships between available net radiations calculated and measured for soil surface (a), vineyard rows (b) and the whole canopy (c). dt = 0.5 h. Data from 13 d of summer 1993, encompassing clear-sky, partly overcast and entirely overcast days. Within the frame, results of linear regressions on the same data.

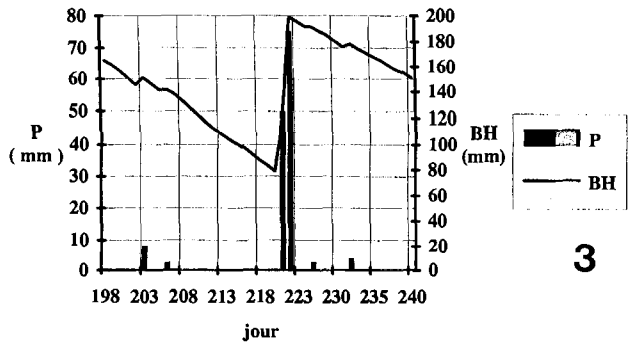
l'expérimentation et il est évident que ceci est discutable, surtout quand les rangs sont très voisins (ce qui ne correspond pas à des configurations réelles dans la région de Bordeaux où le rapport D/Hf est en général voisin de 2).

Une des conclusions tirée de ces résultats présente un intérêt pratique certain. On peut en effet essayer de caractériser le mode de conduite de la vigne par un paramètre ayant une signification pour évaluer les échanges d'énergie entre la vigne et son environnement; le taux d'énergie solaire absorbée ou mieux, le taux d'énergie radiative absorbée, peuvent être alors proposés.

Le fait que ces deux taux soient proches, conduit à

proposer d'utiliser plutôt la fraction d'énergie solaire absorbée, plus facile à obtenir dans la mesure où l'estimation ne demande pas la connaissance du rayonnement atmosphérique ni celle des différentes températures des surfaces d'échange.





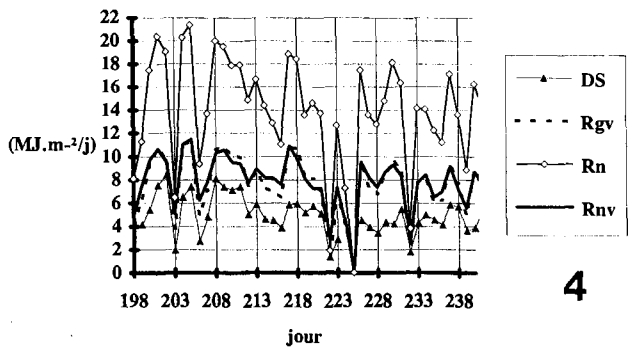


Fig. 2: Simulation pour des rapports D/Hf variables des rapports de partition du rayonnement solaire global et du rayonnement net, pour une journée de ciel clair. D est l'écartement des rangs et Hf leur hauteur feuillée. La flèche indique la position du site expérimental sur lequel le modèle de partition du rayonnement net a été vérifié.

Fig. 3: Evolution pendant la période de mesure de l'été 1992 des précipitations mesurées (P) et d'un bilan hydrique simplifié (BH) du sol, BH(t+1)=BH(t)+P-ETP. La réserve maximum du sol est supposée être de 200 mm et saturée au début du mois de mai, ce qui est compatible avec les précipitations hivernales observées.

Fig. 4: Données de l'été 1992, en conditions de sol humide. Evolution des intégrales journalières du débit de sève mesuré (DS), du rayonnement global intercepté par la vigne calculé (Rgv), du rayonnement net disponible pour le vignoble, mesuré (Rn) et pour la vigne, calculé (Rnv). -[NB: 1 mm/d est équivalent à environ 2,45 MJm^{-2}/d].

Fig. 2: Simulation for varying ratios D/Hf (row spacing/height of row with leaves) of the rates of partition of solar radiation Rgv/(1-a).Rg and of net radiation Rnv/Rn. The position of the experimental site, where the net radiation partition model was actually tested is shown by the arrow.

Fig. 3: Evolution during measurement period of summer 1992 of rainfall (P), and of a simplified (underestimated) soil hydric balance (BH) defined by BH(t+1) = BH(t)+P-PET where PET is calculated according to the Penman formula. Maximum soil water reserve is supposed to be 200 mm, and saturated at the beginning of May, which is supported by the magnitude of winter rainfalls.

Fig. 4: Data of summer 1992, with humid soil conditions. Variations of daily integrals of measured sap-flow flux (DS), calculated solar radiation intercepted by the rows (Rgv), calculated net radiation available for the rows (Rnv) and measured net radiation available for the whole canopy (Rn). - [1 mm/d is equivalent to nearly 2.45 MJ m^2/d]

Mesure des composantes du bilan d'énergie

Dispositif expérimental: Des mesures directes des flux de vapeur d'eau LE et de chaleur sensible dans l'atmosphère H sont effectuées par la méthode des corrélations tourbillonnaires: anémomètre sonique 1D, et thermocouple sensible (Campbell CA 27), hygromètre à Krypton (Campbell KH_20); les appareils sont placés à 4,68 m de haut.

La mesure du débit de sève est obtenue à partir du bilan de chaleur (VALANCOGNE et NASR 1993), effectué sur 6 pieds de vigne voisins, sur la base d'un échantillonnage représentatif de l'ensemble du vignoble. Les valeurs du débit de sève sont intégrées sur la totalité du temps où la transpiration a lieu et le volume total de la transpiration est divisé par la surface de sol occupée par un pied, (2 m^2) soit DS.

Le flux de chaleur dans le sol G est obtenu à partir de l'évolution des profils thermiques établis grâce à 6 verticales de mesure espacées régulièrement sur une largeur de 2 interrangs. Chaque verticale fournit une température de référence à 1 m de profondeur et 6 valeurs de température correspondant à des profondeurs où les variations sont les plus rapides: 1, 4, 9, 16, 25, 36 cm. La chaleur spécifique du sol est calculée à partir de sa texture et de sa densité. Les mesures s'échelonnent sur 43 jours entre le 16 juillet et le 27 août. Pendant les mesures, on a vérifié par un bilan hydrique Pluie-ETP que le stock d'eau du sol est suffisant pour assurer une évaporation maximum de la vigne (Fig. 3). La répartition des pluies et l'observation sur le terrain conduisent à admettre une évaporation du sol proche du maximum, sauf peut-être les derniers jours avant le n° 221.

Résultats: Evolution des différentes grandeurs; vérification de la fermeture du bilan. La Fig. 4 indique les valeurs journalières de différentes grandeurs. On remarque le synchronisme des variations de ces différentes grandeurs, dont une (DS) est estimée indépendamment des autres.

Par ailleurs, on vérifie bien que les 4 mesures indépendantes LE, H, Rn et G fournissent des valeurs journalières cohérentes (Fig. 5 a), puisque le bilan d'énergie du vignoble considéré dans son ensemble exige qu'on ait:

$$Rn = H + G + LE.$$

Les faibles valeurs observées pour le flux de chaleur sensible H sont une confirmation supplémentaire de la

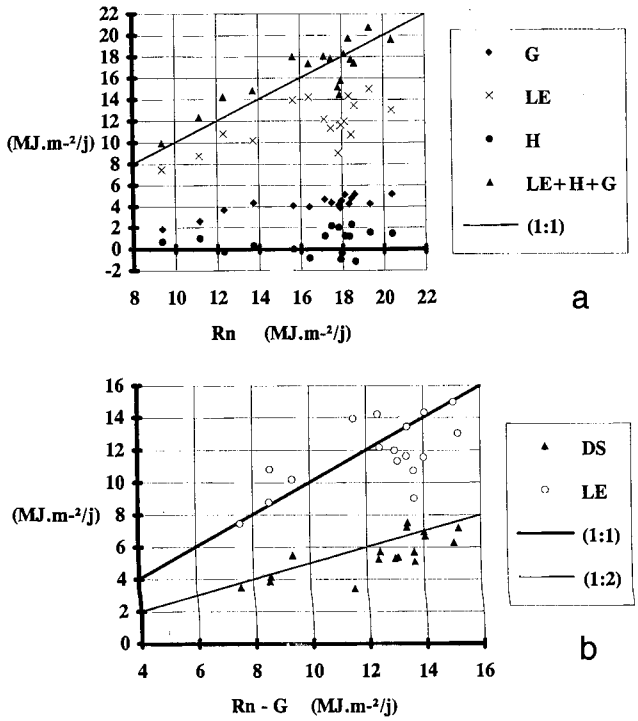


Fig. 5: Intégrales pour la période diurne et lorsqu'elles sont estimées à partir de suffisamment de mesures, des différents composants du bilan d'énergie de l'ensemble du vignoble; relation avec le rayonnement net Rn (a). Pour les mêmes données, relations de l'évapotranspiration LE et du débit de sève DS avec l'énergie disponible Rn-G (b). Repères: droites de pentes 1 et 1/2.

Daytime integrals, when estimated from enough measurements, of some components of the energy balance of the whole vineyard canopy as a function of net radiation (a). For the same data, variations of measured evapotranspiration (LE) and sap-flow (DS) with available energy (Rn-G) (b). Straight lines have slopes 1 and 1/2.

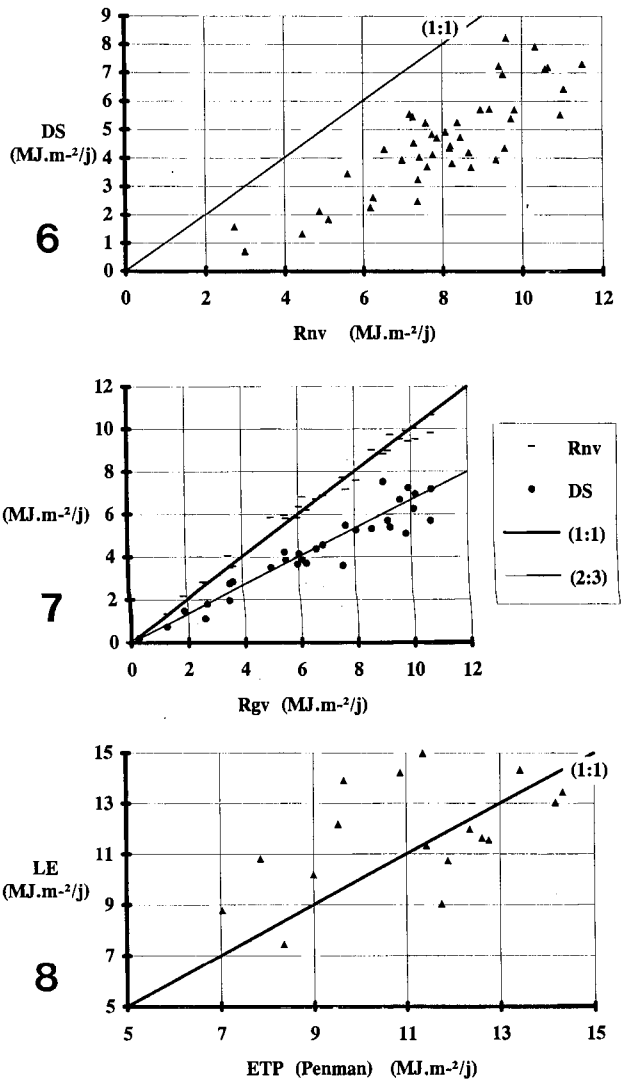


Fig. 6: Pour toutes les données, relation des valeurs journalières du débit de sève mesuré DS avec l'énergie disponible pour les rangs de vigne calculée, Rnv.

Fig. 7: Relations des valeurs journalières pour les rangs de vigne du rayonnement net disponible Rnv et du débit de sève DS, avec le rayonnement global intercepté Rgv. Comme repères, les droites de pentes 1 et 2/3.

Fig. 8: Relations des valeurs journalières de l'évapotranspiration du vignoble mesurée LE et de l'ETP Penman calculée selon une formulation classique, à partir de données de type "réseau météo".

Fig. 6: Daily integrals of measured sap-flow (DS) as a function of calculated net radiation available for the rows (Rnv).

Fig. 7: Daily integrals for vineyard rows of measured sap-flow (DS) and calculated net radiation (Rnv) as a function of calculated global intercepted radiation (Rgv).

Fig. 8: Variations of daily totals of measured evapotranspiration (LE) with PET (ETP), where PET is calculated according to the Penman formula.

forte humidité du sol, même en surface. Comme on peut s'y attendre, puisqu'ici les erreurs peuvent s'ajouter, il y a une certaine imprécision, mais qui reste acceptable.

A partir des mêmes données journalières on voit que la transpiration de la vigne n'est qu'une fraction de l'évapotranspiration totale (Fig. 5 b). Il s'agit ici du premier cas évoqué dans l'introduction où à la suite d'une période pluvieuse l'ensemble des surfaces d'échange évapore à son maximum en l'absence de conditions hydriques limitantes. L'évaporation totale LE reste proche de Rn-G. Ce qui est particulièrement intéressant, c'est la comparaison entre la transpiration de la vigne et l'évapotranspiration totale: cette dernière est environ deux fois plus élevée.

Les Figs. 6 et 7 précisent la part d'énergie utilisée dans la transpiration; celle-ci reste proportionnelle à la fois au rayonnement net et au rayonnement global absorbés; les écarts peuvent provenir, outre l'imprécison des mesures, d'une influence de facteurs secondaires de la transpiration: vent, déficit de saturation; par ailleurs, la présence fréquente de rosée matinale contribue à la dispersion: son évaporation consomme une partie de l'énergie.

Comparaison entre l'ETP totale mesurée et calculée: La formule de PENMAN (1948) est calculée de façon standard: albédo de 0,20 avec la fonction du vent suivante:
$0{,}0026\ (1 + 045 \cdot U_{6m})$mm/24h/Pa.

La comparaison avec l'évapotranspiration maximum (Fig. 8 a) montre, malgré la dispersion, que l'ETP Penman exprime à peu près la consommation d'eau de l'ensemble du vignoble quand le sol est humide jusqu'en surface (c'est

notamment le cas des valeurs les plus élevées de l'évaporation). La dispersion observée provient peut-être d'une fonction du vent inadaptée à la structure du couvert de vigne.

Estimation de la transpiration maximum de la vigne

La valeur journalière de la transpiration de la vigne est étroitement liée au rayonnement net absorbé par la vigne (Fig. 6) et également au rayonnement global absorbé par la vigne, comme le montre la Fig. 7. On est donc amené, comme on le soulignait précédemment, à utiliser des paramètres caractéristiques du mode de conduite de la vigne qui soient significatifs de son fonctionnement énergétique; on a proposé à ce sujet, les rapports Rnv/Rn et Rgv/Rg, ce dernier étant plus simple à obtenir.

Une modélisation simple de la transpiration de la vigne peut s'appuyer sur l'hypothèse suivante: le taux d'évaporation de la vigne par rapport à l'évaporation totale doit être proche du rapport du bilan radiatif de la vigne sur le bilan radiatif total soit:

$$DS/ETM \cup Rnv/Rn$$

où ETM est l'évapotranspiration maximum du vignoble proche de l'ETP Penman (ETP) soit:

$$DS \cup (Rnv/Rn)ETP \cup (Rgv/[(1-a)Rg])ETP$$

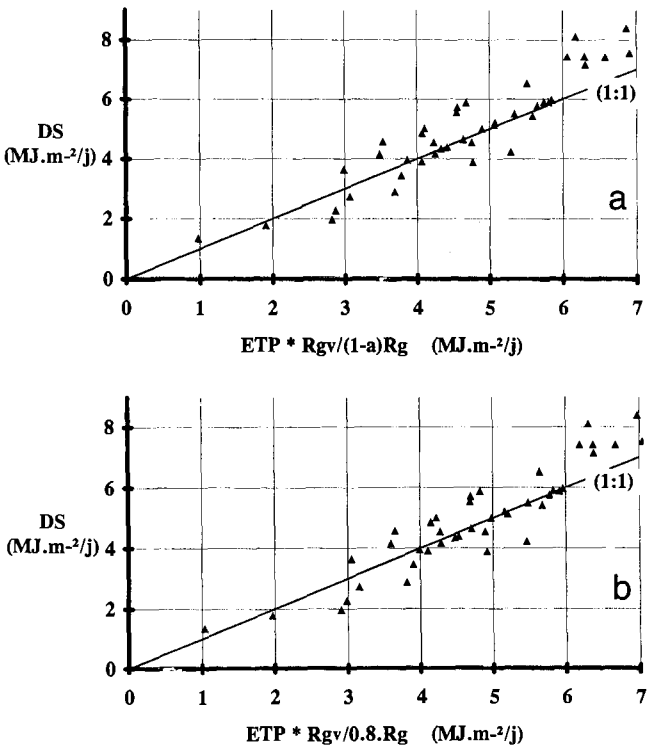


Fig. 9: Relations des valeurs journalières du débit de sève mesuré DS avec l'ETP corrigée par la fraction de rayonnement global intercepté, Rgv/(1-a)Rg (a), ou la même fraction rapportée au rayonnement global intercepté par un couvert homogène Rgv/0,8 Rg (b).

Variations of daily totals of measured sap-flow (DS) with the PET (ETP) corrected by the rate of partition of solar radiation, Rgv/(1-a)Rg (a), or the rate of interception of solar radiation compared with what it is for a continuous canopy, Rgv/0.8 Rg (b).

Une deuxième formulation serait la suivante: la transpiration de la vigne est une fraction du rayonnement global absorbé et cette fraction doit être proche de celle de la transpiration d'une culture couvrante à faible rugosité dont le modèle pourrait être une prairie (albédo 0,8), et qui est exprimée par l'ETP Penman. On a alors:

$$ETP/0,8Rg \cup DS/Rgv \text{ ou } DS \cup (Rgv/0,8Rg)ETP$$

L'albédo du vignoble étant finalement assez proche de 0,2, il n'y a pas une grande différence entre ces deux résultats; la dernière formulation a le mérite de la simplicité puisqu'elle ne suppose pas connu l'albédo du vignoble.

Les Figs. 9 a et b montrent que les hypothèses faites sont tout à fait acceptables; on peut même expliquer quelques écarts, en particulier ceux qui correspondent aux valeurs élevées par le fait que le modèle d'absorption des rayonnements est plus précis après le rognage, quand les dimensions de la vigne sont les mieux définies. Sur la Fig. 10, on voit en effet que les points représentatifs de la transpiration restent très proches de leur valeur estimée, quelques jours après les rognages.

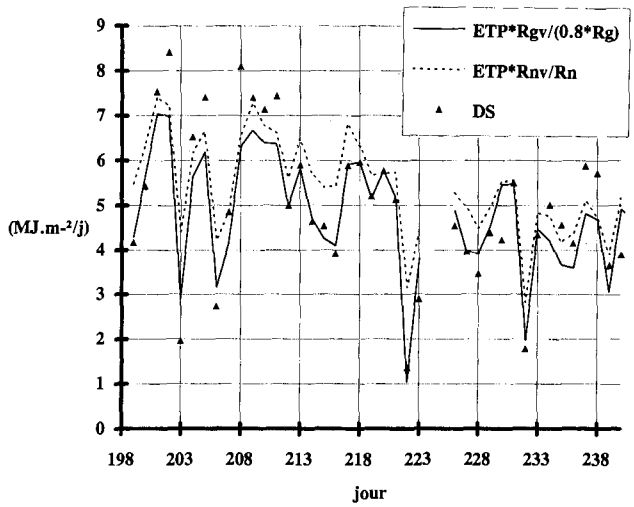


Fig. 10: Evolution du débit de sève journalier de la vigne DS comparé à l'ETP corrigée des 2 fractions de rayonnement intercepté. Rognages de la vigne effectués les jours 195, 212 et 226.

Evolution of daily sap-flow of the vines (DS), compared with the PET (ETP) corrected by the 2 rates of partition of solar radiation and of net radiation. Clipping of vine rows occurring on days 195, 212 and 226.

Conclusion

Les résultats expérimentaux concernent certes un mode de conduite particulier (assez général cependant dans le Bordelais), mais fournissent des éléments intéressants.

Tout d'abord, en conditions hydriques non limitantes, les contributions journalières au flux de vapeur d'eau, de la vigne elle-même et de la zone intercalaire sont très comparables; elles sont proportionnelles aux valeurs du rayonnement net absorbé et pratiquement à celles du rayonnement solaire absorbé. Une simulation montre que les taux d'absorption par la vigne (ou par le sol) des rayonnements solaire et net restent très proches tant que la

distance entre rangs se maintient à des valeurs habituelles (D/Hf > 1). L'évapotranspiration maximum de l'ensemble sol-vigne est proche de l'ETP Penman.

On dispose ainsi, dans ces conditions, grâce au modèle d'absorption du rayonnement solaire, d'un paramètre, relativement simple à obtenir, (pratiquement constant dans le cas d'une vigne orientée Nord-Sud, dès que le feuillage est développé) et qui caractérise le fonctionnement d'un système de conduite dans ses échanges d'énergie.

Le taux de l'absorption par la vigne de l'énergie solaire, par rapport à celle d'une culture couvrante, fournit en effet un facteur de réduction de l'évapotranspiration potentielle.

On constate enfin qu'une modélisation de la consommation d'eau du vignoble devra se décomposer en deux éléments: le premier concerne la transpiration de la vigne elle-même pour laquelle on examinera successivement le cas du sol qui se dessèche en surface libérant de la chaleur sensible, puis le cas de l'épuisement de la réserve en eau induisant des régulations dans la plante. Le second élément concerne l'évaporation de la zone intercalaire, souvent du sol nu comme c'est le cas ici; l'évaporation obéit alors à un déterminisme physique maintes fois étudié, modifié ici cependant par la réduction de l'énergie solaire disponible.

Références

ARNFIELD, A. J.; 1979: Evaluation of empirical expressions for the estimation of hourly and daily totals of atmospheric longwave emission under all sky conditions. Quart. J. R. Met. Soc., **105**, 1041-1052.

IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; 1969: Thermal radiation from the atmosphere. J. Geophys. Res., **74**, 5397-5403.

PENMAN, H. L.; 1948: Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proc. R. Soc. London Ser. A. **193**, 120-146.

PIERI, P.; 1989: Etude expérimentale et modélisation des écoulements aérodynamiques au voisinage de cultures en rangs. Thèse de Doctorat de l'Université Bordeaux I, France.

- -, P.; 1991: Le microclimat d'une culture de vigne. In: GOZZINI, B.; ORLANDINI, S. (Eds.): L'Agrometeorologia del vigneto, Convegno di Greve in Chianti, 13.09.1991, 25-38. Accademia dei Georgofili, Firenze, Italy.

RIOU, C.; VALANCOGNE, C.; PIERI, P.; 1989: Un modèle simple d'interception du rayonnement solaire par la vigne - Vérification expérimentale. Agronomie **9**, 441-450.

VALANCOGNE, C.; NASR, Z.; 1993: A heat balance method for measuring sap flow in small trees. In: Borghetti, M.; Grace, J.; Raschi, A. (Eds.): Water Transport in Plants under Climatic Stress, Proceedings of an International Workshop, held in Vallombrosa, Firenze, Italy, 29-31 May 1990, 219-227. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Reçu le 28 Janvier 1994