Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 1995, **29**, N°3, 131-142

EFFETS DE REVÊTEMENTS ARTIFICIELS DU SOL SUR LA TEMPÉRATURE A L'INTÉRIEUR DES GRAPPES DE RAISIN AU COURS DE LA MATURATION

EFFECTS OF ARTIFICIAL SOIL COVERS ON THE INTERNAL TEMPERATURES OF GRAPE BERRIES DURING THE GRAPE MATURATION

O. IGOUNET*, Ch. BALDY**, J.P. ROBIN***, J.C. BOULET****, M. SANON***** et B. SUARD**

*ULP, Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques, U.R.A. 95 CNRS, 67083 Strasbourg (France)
**INRA, Laboratoire d'Étude des Plantes sous Stress Environnementaux, 34060 Montpellier (France)
***INRA, Laboratoire de Biochimie Moléculaire, 34060 Montpellier (France)
****INRA, Institut Supérieur de la Vigne et du Vin, 11430 Station de Narbonne-Pech Rouge (France)
*****INERA, Station de Di, 03 BP 7192, Ouagadougou 03 (Burkina Faso)

Résumé : Des mesures des températures de l'air, de la surface des baies de raisin par radiothermométrie infrarouge, et des températures enregistrées au centre des grappes ont été réalisées sur la variété Syrah pendant les 50 jours précédant la maturité. On a pu mettre en évidence des différences importantes de réponse thermique des baies en fonction du type de couverture du sol et en fonction du stade de maturation des baies. Les écarts de température au centre de la grappe par rapport à l'air sont très hautement significatifs ; ils ont été mis en évidence en particulier au dessus d'un revêtement d'aluminium, qui réfléchit presque totalement le rayonnement solaire incident. Enfin, des analyses statistiques ont été entreprises pour déterminer quels paramètres climatiques influent de façon prépondérante sur le régime thermique des grappes. La radiation solaire, la vélocité du vent et la température de l'air sont les variables qui ressortent. Cependant, leur importance varie fortement au cours de la maturation.

Abstract : Air temperature as well as internal and surface temperatures (by infrared radiothermometry) of grape berries of vineyards (var. Syrah) under which we place different soil cover : bare soil, polyethylene and aluminium were monitored during the swelling and the ripening stages at the «Institut National de la Recherche Agronomique» experimental station at Pech Rouge, Gruissan (France). Results showed there were significant differences in the thermal responses of the grapes with respect to the type of soil cover and degree of fruit ripening. High differences in temperatures between grape and air were observed in soil covered with aluminium sheet which reflected most of the incident solar radiation. For this cover, biochemical analysis of berries and must indicate an increase of sugars grade and alcoholic degree. Statistical analysis were carried out to determine the influence of climatic variables on the grape temperatures. Solar radiation, wind and air temperature are the parameters which seem the main factors, nevertheless, their influence evolve during the process of grape maturation.

Mots clés : sol, température, maturation
Keywords : soil, temperature, grape maturation

INTRODUCTION

Les interactions entre le sol, le climat et la vigne sont étudiées depuis longtemps. De nombreux travaux en rendent compte. RAVAZ (1908), NIGOND et *al.* (1968) ont analysé l'influence des facteurs du microclimat sur la croissance et le développement de la vigne. KLIEWER et LIDER (1970), KLIEWER et *al.* (1972), HALE et BUTTROSE (1974) soulignent, à partir d'expérimentations en conditions contrôlées, les effets défavorables des températures élevées sur la croissance, le développement et la maturation des baies. D'autres auteurs, KLIEWER et SCHULTZ (1964), KLIEWER (1977), VAUTIER et *al.* (1978) ont montré que les teneurs en sucre et en acides malique et tartrique des baies de raisin, la régulation de leurs principaux systèmes enzymatiques et leur coloration étaient très dépendantes de leur régime thermique. Il est en particulier connu, suite aux travaux de PEYNAUD et RIBÉREAU-GAYON (1971), que cet état thermique conditionne les vitesses de respiration et d'oxydation des principaux substrats (sucres et malate) de la baie. Des travaux récents, menés par SAUVAGE et *al.* (1991), suggèrent par ailleurs qu'un métabolisme de type anaérobie s'établit dans les grappes sous l'effet des diverses contraintes thermiques et hydriques afférent à la période estivale. La thermodépendance d'un tel processus, notamment le rôle important de la tem-

pérature sur la dégradation du malate, a été bien mise en évidence par CHAMBROY et *al.* (1985) lors du métabolisme anaérobie provoqué après récolte (vinification dite par macération carbonique). Quel que soit le cas, l'induction d'un tel métabolisme, sous l'effet des conditions du milieu, affecte la composition des moûts de raisin et par la suite la qualité des vins qui en sont issus.

Compte tenu de l'importance des effets thermiques affectant la maturation du raisin et des observations de VERBRUGGHE et *al.* (1991) rappelant que le type de sol sur lequel la vigne est installée influe sur le régime thermique des baies, il a paru intéressant de chercher si l'on pouvait agir sur la maturation et par la suite ,sur la qualité du vin en modifiant, au champ, le régime thermique des grappes de raisin. On a donc mis en place des situations expérimentales visant à placer des ceps d'une vigne d'une même parcelle dans différentes conditions thermiques et hydriques, afin d'étudier les répercussions sur les caractéristiques physico-chimiques des baies et, finalement, sur la qualité des produits obtenus.

Parmi les buts poursuivis, le suivi continu du fonctionnement thermique de la grappe de raisin, au cours de la maturation, constitue un point particulièrement important, compte tenu de résultats obtenus par le Laboratoire de Biochimie Métabolique de l'I.P.V. de Montpellier. Ceux-ci indiquent que les caractéristiques biochimiques des baies, soumises *in situ* à une solarisation artificielle des souches, sont sensiblement différentes. On constate, entre autre, un taux de sucres et un degré alcoolique potentiel supérieurs mais également un effet positif sur la qualité des moûts et du vin (SAUVAGE et *al.*, 1995).

MATÉRIEL DE L'ÉTUDE ET MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

I — SITUATION DE L'ÉTUDE ET MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les résultats présentés ont été obtenus sur une parcelle de vigne du cépage Syrah (porte greffe 110 R), située sur le domaine expérimentale de l'I.N.R.A. à Pech Rouge (lat. 43°86 Nord, long. 3°71, altitude 60 m), dans la montagne de la Clape (Aude). Il s'agit d'une vigne palissée, conduite en taille Guyot simple, dont l'indice d'entassement selon le calcul simplifié proposée par CARBONNEAU (1983) a évolué de la façon suivante : au 12/06/1993, l'Index Foliaire = 1,13 - au 01/07/1993, I.F. = 1,06 - au 05/08/1993 : I.F. = 0,64. Elle est plantée avec un écartement de 2,25 x 1,50 m sur un sol peu profond (30 à 50 cm), de type sol rouge méditerranéen.

Ce cépage a été retenu car il entre dans beaucoup d'Appellations d'Origine Contrôlée (A.O.C.) de la région méditerranéenne en raison de ses qualités gustatives intéressantes, et il présente par ailleurs une forte réactivité au milieu.

II — MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

L'étude a consisté à suivre, de deux façons, les températures, en différentes positions à l'intérieur de la végétation, de ceps sous lesquels ont été disposées des bâches modifiant les états de surface par rapport au sol de la parcelle (noté «T»).

1) Modification des états de surface et influence théorique sur le rayonnement absorbé par la végétation

Les modifications des états de surface sont provoquées en employant deux types de «bâches» de 0,60 m de large et de 25 m de long, placées de part et d'autre de vingt ceps, avec quatre répétitions. Dans le premier cas, il s'agit d'une bâche réfléchissante dans le visible et l'infrarouge, formée par un film d'aluminium (noté «A») collé sur un support de polystyrène expansé (2 mm). Le film d'aluminium réfléchit plus de 90 p. cent du rayonnement solaire. En théorie, il modifie aussi le bilan d'énergie de grande longueur d'onde, en réduisant l'apport énergétique diurne sous la bâche, du fait même de cette forte réflexion.

Dans le second cas, il s'agit, à l'inverse, d'un revêtement très peu réfléchissant. Il est formé d'un film en polyéthylène noir de type agricole (noté «N») de 150 µm d'épaisseur qui ne réfléchit que 5 p. cent du rayonnement solaire qui atteint le sol. Ce qui se traduit, pendant le jour, par une forte émission de chaleur sensible à partir de sa surface tant vers la végétation que vers le sol.

La température de surface des organes d'une plante est, à chaque instant, la résultante de leurs échanges d'énergie avec leur environnement. Dans le cas d'éléments végétaux, tels que les grains de raisins en cours de maturation, la composante due à l'évapotranspiration peut être négligée (VERBRUGGHE et *al.*, 1991). La température dépend alors essentiellement du bilan radiatif, des échanges d'énergie par convection et de l'accumulation ou de la restitution de chaleur par les grains.

D'après VARLET-GRANCHER et BONHOMME (1974), le rayonnement absorbé par la végétation (Rg_a) est déterminé par le bilan entre les rayonnements reçus : rayonnement incident (Rg_o) et rayonnement réfléchi par le sol (Rg_{rs}), et les rayonnements «perdus»: rayonnement réfléchi par l'ensemble sol-culture (Rg_r) et rayonnement transmis au sol (Rg_t).

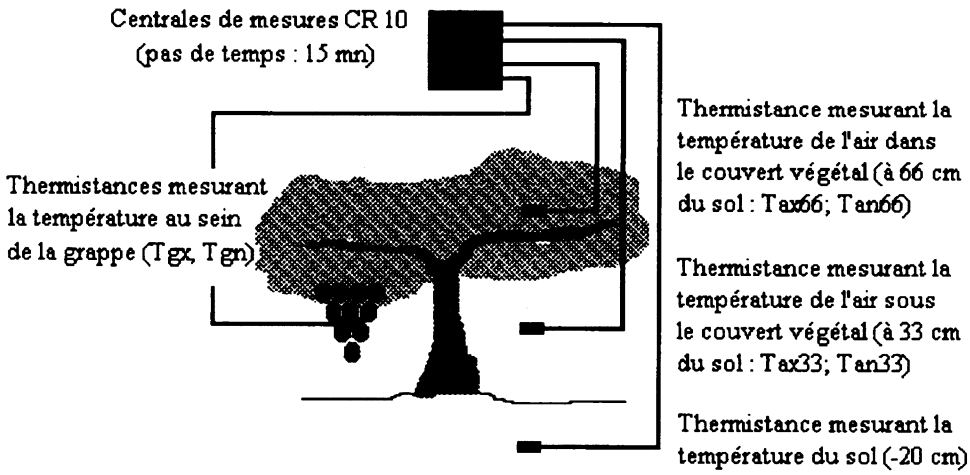


Fig. 1 — Schéma d'installation des thermistances sur un cep, dans le feuillage, à l'intérieur d'une grappe, au voisinage de cette grappe et dans le sol

Les revêtements sous la culture font varier la réflectance par rapport à la situation de référence en sol nu. Elles interviennent donc principalement sur la composante Rg_{rs} du bilan d'énergie. Ce rayonnement réfléchi va affecter principalement la partie inférieure du couvert végétal, et en particulier, le comportement thermique des grappes qui s'y trouvent en grande quantité.

2) Enregistrement des températures à l'intérieur des grappes

Sur un cep (figure 1) pour chacune des trois situations, une thermistance de 2 mm^2 (modèle Betatherm) placée au bout d'une allumette a été glissée avec précaution entre les grains, à l'intérieur d'une grappe constamment ombragée, située sous le feuillage (au stade : baie de la taille d'un petit pois). Sur ces mêmes ceps, d'autres thermistances ont été disposées sous le feuillage, à 33 cm au dessus du sol, afin d'enregistrer la température de l'air au voisinage de ces grappes. D'autres encore ont été installées dans le feuillage, à 66 cm au dessus du sol, pour enregistrer la température de l'air dans le couvert végétal. D'autres enfin ont été placées dans le sol, à 20 cm de profondeur. Tous ces capteurs sont reliés à une centrale d'acquisition de données (CR 10, Campbell). Les températures collectées toutes les quinze minutes ont permis de calculer une température horaire moyenne afin de suivre en continu l'évolution des températures dans ces différentes conditions.

3) Mesure des températures de surface

Parallèlement à ces enregistrements continus des températures de l'air et à l'intérieur des grappes, des mesures ponctuelles sont effectuées, plusieurs fois par semaine, entre 12 et 14 heures solaires. Elles sont réalisées, tant sur le feuillage que sur un échantillon de 16 baies à l'ombre par situation (dont les grappes suivies en continu), à l'aide d'un radiothermomètre infrarouge (modèle Raytek) sensible au rayonnement de longueurs d'ondes comprises entre 8 et 14 µm. L'étalonnage pour chaque journée de mesure est accompli selon la méthode *in situ* préconisée par VERBRUGGHE et GUYOT (1992).

Les températures de surface des baies situées à la périphérie des grappes seront comparées aux enregistrements des températures obtenus en continu à l'intérieur des grappes, pour la même tranche horaire.

4) Données climatiques

Les données météorologiques utilisées proviennent de la station météorologique automatique Cimel Type 390, située à environ 1500 m de distance de la parcelle et à une altitude de 5 m.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I — CONDITIONS CLIMATIQUES

La figure 2a présente les données climatiques, provenant de la station météorologique, concernant le rayonnement global journalier, les températures moyennes, minimales et maximales ainsi que la vitesse moyenne du vent pour l'ensemble des journées pendant la période de mesure.

II — ENREGISTREMENTS DES TEMPÉRATURES PAR LES THERMISTANCES

1) Températures à l'intérieur des grappes

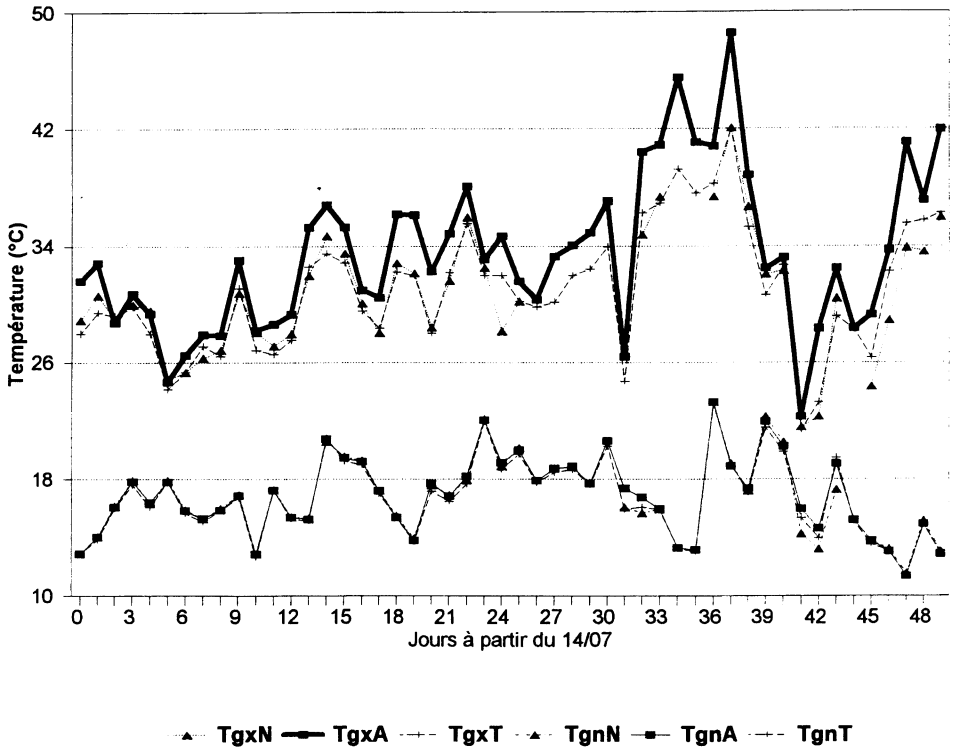


Fig. 2b — Évolution des températures maximales et minimales observées à l'intérieur des grappes, en fonction de l'état de surface : revêtements aluminium (TgxA et TgnA), polyéthylène noir (TgxN et TgnN) et sol nu (TgxT et TgnT) du 14 juillet au 1er septembre

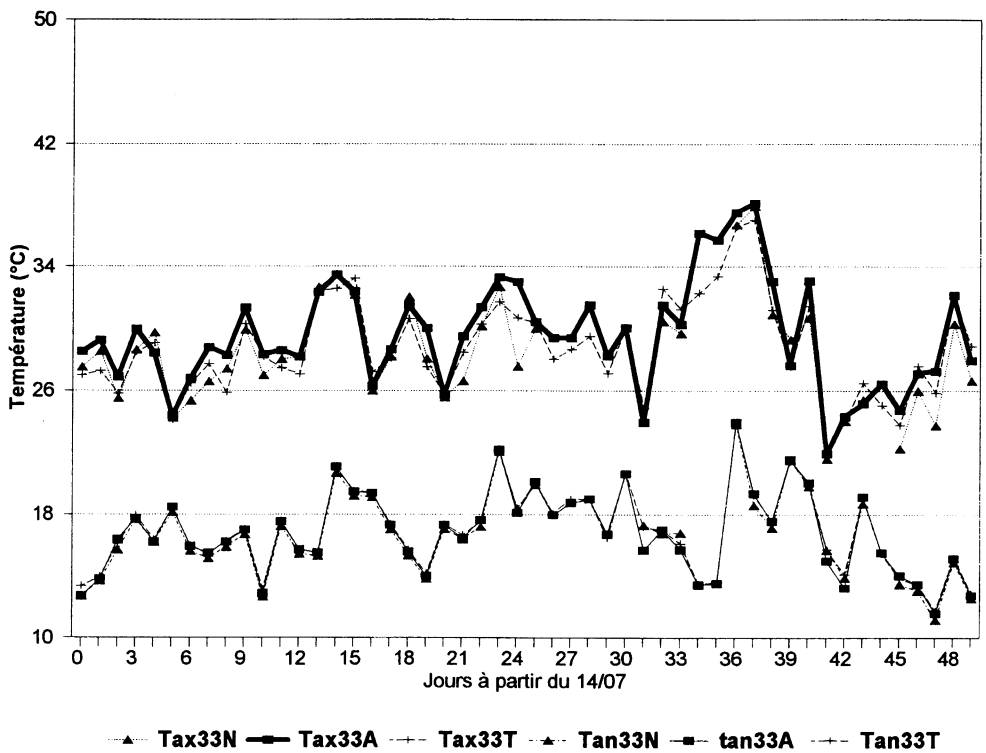


Fig. 2c — Évolution des températures maximales et minimales de l'air observées dans la végétation à 33 cm du sol en fonction de l'état de surface : revêtements aluminium (Tax33A et Tan33A), polyéthylène noir (Tax33N et Tan33N) et sol nu (Tax33T et Tan33T) du 14 juillet au 1er septembre

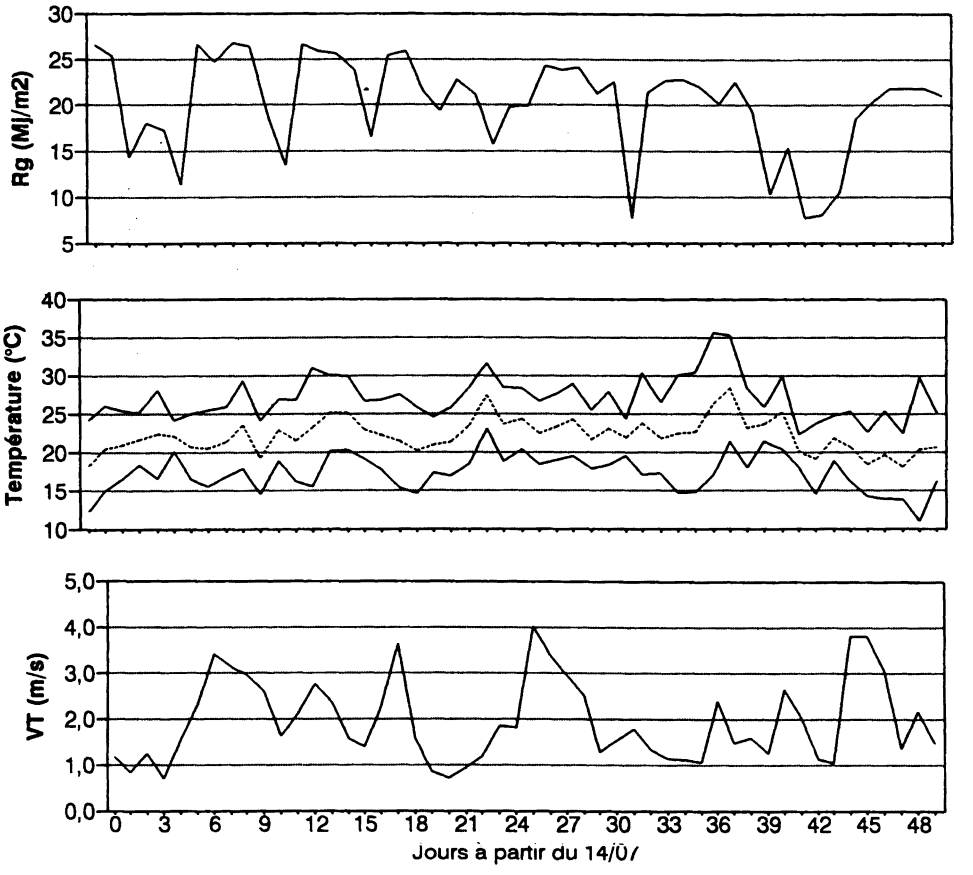


Fig. 2a — Valeurs journalières du rayonnement solaire global (Rg), des températures minimales, moyennes et maximales (Tn, Tm et Tx) et des vitesses moyennes journalières du vent (VT)

L'analyse continue des températures journalières minimales et maximales dans les grappes (figure 2b) met en évidence un effet significatif de la bâche aluminium sur les températures maximales journalières à l'intérieur des grappes situées au-dessus de celle-ci (TgxA), par rapport aux grappes situées au-dessus des situations «T» (TgxT) et «N» (TgxN). Entre ces dernières situations, on ne constate pas de différences significatives. Les écarts entre TgxA et TgxT ou TgxN s'échelonnent entre - 0,5°C et 6,5°C. Pour plus de cinquante pour cent des journées de mesure, cet écart est supérieur à 2°C.

Par contre, on note très peu de différence entre les températures minimales dans les grappes (TgnA, TgnN ou TgnT). Seules cinq journées présentent des écarts de température supérieurs à 1°C entre les trois situations.

2) Températures de l'air à proximité des grappes (à 33 cm au dessus du sol) et dans le feuillage (à 66 cm au dessus du sol).

L'évolution des températures extrêmes de l'air (figure 2c) sous la végétation à 33 cm au dessus du sol, met également en évidence une plus forte dispersion entre les situations des températures maximales (Tax33) qu'entre celles des températures minimales (Tan33). Les écarts moyens observés entre celles-ci sont beaucoup plus faibles que ceux observés dans les grappes. On constate cependant des écarts moyens significatifs pour les températures maximales entre Tax33A par rapport à Tax33T ou à Tax33N, mais ils sont non significatifs pour les températures minimales.

3) Écarts entre la température à l'intérieur des grappes et la température de l'air à leur proximité

La figuration des écarts entre les températures maximales journalières à l'intérieur des grappes dans les trois situations et la température de l'air enregistrée au même niveau et en même temps (figure 3) permet de constater des différences importantes. Ces écarts peuvent atteindre 14°C pour la situation «A», 10,1°C pour la situation «N» et 9,7 °C pour la situation «T».

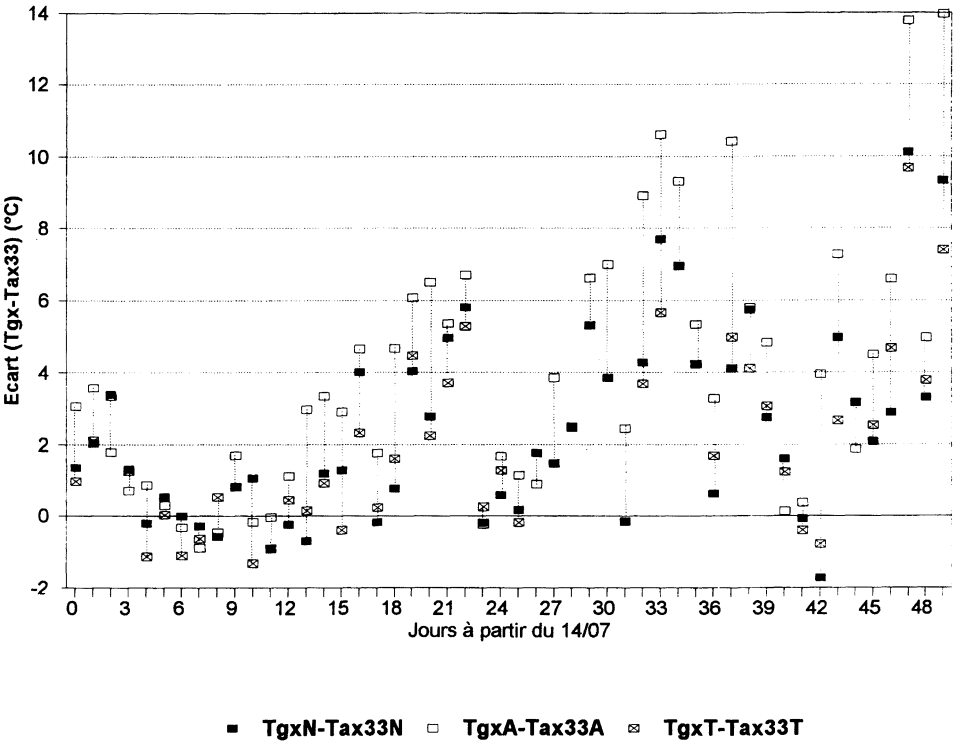


Fig. 3 — Écarts observés entre les températures maximales dans les grappes (Tgx) pour chacune des trois situations par rapport aux températures maximales de l'air à 33 cm au dessus du sol (Tax33) du 14 juillet au 1er septembre

Les mesures de température, effectuées par radiothermométrie, à la surface des baies, au soleil et à l'ombre vers midi, le 18 août, montrent un échauffement moyen par rapport à la température ambiante de 10,9°C pour les grappes au soleil et de 5,2°C pour les grappes à l'ombre dans la situation «A». Ces échauffements étaient d'environ 9°C pour les baies au soleil des deux autres situations et un peu plus de 3°C pour les grappes à l'ombre.

Par contre, il y a très peu de différence entre les températures minimales nocturnes (non représentées).

On remarquera aussi, sur la figure 3, la tendance à l'augmentation des écarts entre les températures internes des grappes et la température de l'air au cours du temps. Cette tendance s'exprime nettement lors de journées caractérisées par un fort rayonnement solaire et de façon plus ou moins accentuée en fonction des situations.

III — COMPARAISON ENTRE LES TEMPÉRATURES ENREGISTRÉES PAR LES THERMISTANCES À L'INTÉRIEUR DES GRAPPES ET LES TEMPÉRATURES DE SURFACE EFFECTUÉES PAR RADIOTHERMOMÉTRIE INFRAROUGE POUR LES SITUATIONS «A» ET «T»

La comparaison réalisée entre les températures mesurées à la surface des grappes à l'ombre par radiothermomètrie autour de midi solaire (Tgs) et celles enregistrées à l'intérieur des grappes à l'aide de thermistances à la même heure (Tg), pour 12 journées de mesures, permet de distinguer nettement trois périodes dans l'évolution du comportement thermique des grappes ombragées (figure 4). Du 23 juillet au 4 août, les Tgs sont légèrement supérieures à celles enregistrées par les thermistances à l'intérieur des grappes. Puis, pour les trois journées de mesures suivantes, les Tgs deviennent sensiblement supérieures aux températures enregistrées dans celles-ci. Enfin, pour les trois dernières dates de mesures, il y a inversion du phénomène : la température à l'intérieur des grappes devient supérieure de 1 à 3,5 °C à celle mesurée à la surface des baies.

La mise en relation de ces résultats avec des éléments relatifs aux stades phénologiques de la culture peut apporter quelques éléments d'explications à ces modifications du comportement thermique des grappes. Ainsi, la phase de véraison suivie par chromamétrie (Minolta CR200) s'est étalée, cette année, du 24 juillet au 13 août. Cette modification se traduit par le passage d'une coloration verte-jaune à une coloration violette-bleue. La vitesse d'augmentation du poids des baies a été maximale durant cette même période pendant laquelle le poids moyen des baies a doublé entre le 19 juillet et le 16 août pour atteindre, à cette date, quatre-

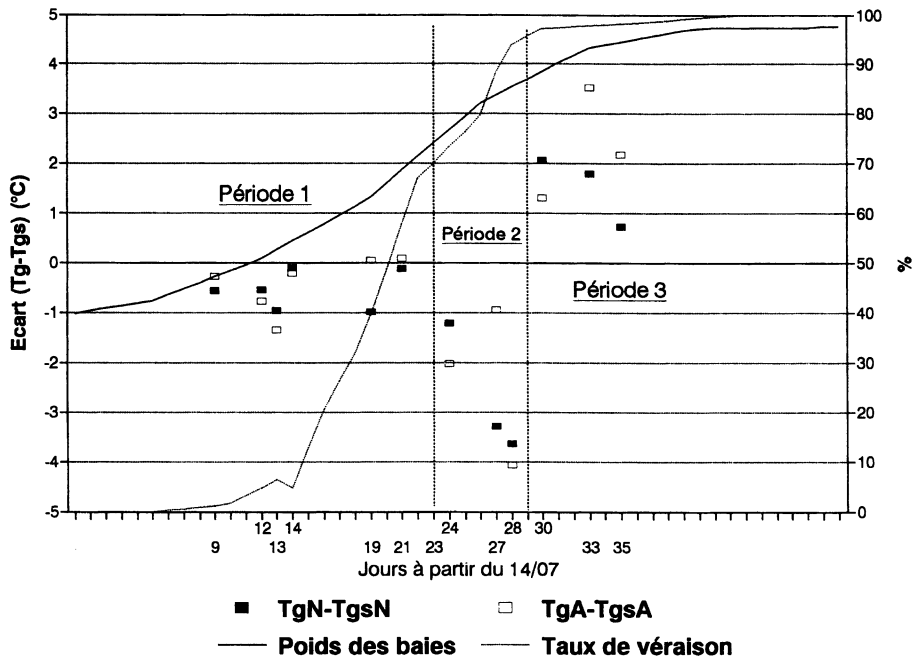


Fig. 4 — Écarts observés entre les températures enregistrées à l'intérieur des grappes par les thermistances pour les situations «T» (TgT) et «A» (TgA) et les températures de surface des grappes à l'ombre mesurée par radiothermométrie entre 12 et 14 TU pour les mêmes situations (TgsT et TgsA). Représentation du taux de véraison et du poids des baies par rapport à leur poids final à maturité

vingt-dix pour cent du poids à maturité. Le changement de couleur des baies lors de la véraison modifie leur albédo, soit la proportion de radiation solaire réfléchie à la surface des baies diminue. Ce chiffre, pour des baies du cépage «Black Concord», est de 0,22 tandis qu'il est probablement plus élevé pour des baies vertes (SMART et *al.*, 1977). Le gonflement des baies pendant la véraison puis, au cours de la maturation, va influer sur les processus de convection dans les grappes. Ils seront moins efficaces, par contre, la chaleur sera conduite plus facilement d'une baie à l'autre. Enfin le confinement de la thermistance à l'intérieur de la grappe va augmenter en raison de la «fermeture» de celle-ci. Les faibles écarts négatifs relevés pendant la première période apparaissent quand les grappes sont encore «ouvertes», et donc dans un état où il existe peu de différence entre le contour et l'intérieur de la grappe, du fait d'une bonne aération entre les baies. L'accentuation de ces écarts négatifs, pendant la deuxième période, se déroule de façon concomitante à l'assombrissement de la couleur des baies en fin de véraison. SMART et SINCLAIR (1976), dans leur théorie de prédiction des températures des baies isolées, indiquent que, le jour, une baie exposée à la lumière directe du soleil sera la plus chaude au moment où le rayon du soleil est normal et la plus fraîche derrière la baie du côté opposé à ce point.

Les grappes suivies ne sont pas soumises directement au rayon du soleil mais la mesure de température de surface intègre ces «hot spots» bien présents même sur des grappes ombragées comme les photographies infrarouges l'ont révélé.

Enfin, en phase de maturation (période 3), le basculement des écarts vers des valeurs positives peut s'expliquer par la fermeture des grappes et le confinement des thermistances. On peut supposer que cette théorie, valable pour des baies isolées et ensoleillées, ne s'applique plus, voir s'inverse, pour des grappes compactes et ombragées au sein desquelles la température s'élève par conduction, alors que la partie externe des baies reste plus fraîche. En fonction des conditions climatiques, ces écarts peuvent atteindre des valeurs importantes, comme on peut l'observer principalement vers la fin de la période de mesure sur les figures 2b et 3.

IV — EFFETS THERMIQUES CUMULÉS DU TYPE DE REVÊTEMENTS DE SOL ET INFLUENCE DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES SUR LES TEMPÉRATURES DES GRAPPES

1) Cumuls des sommes de température journalière et des amplitudes thermiques journalières à l'intérieur des grappes et en comparaison avec la température de l'air

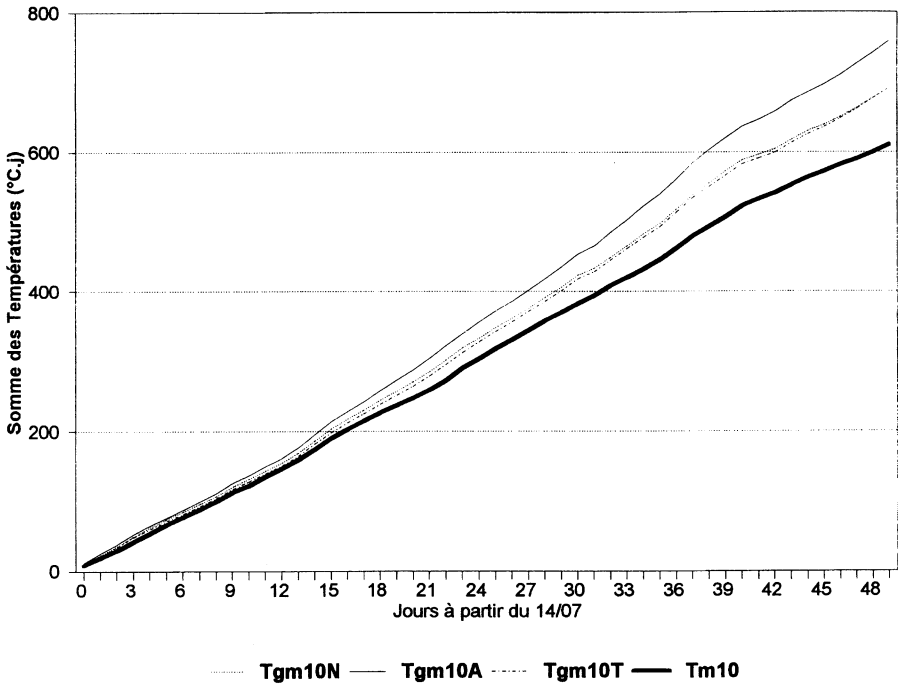


Fig. 5 — Cumul des sommes de températures journalières moyennes (base 10) à l'intérieur des grappes des trois situations (Tgm10N, Tgm10A, Tgm10T) et de l'air (Tm10), à 1,5 m (station Cimel), du 14 juillet au 1er septembre

Afin de traduire les différences de température enregistrées dans les grappes sur la totalité de la période de mesure en fonction des situations, on a procédé au calcul des sommes des températures moyennes (en base 10) pour chaque grappe. Il est comparé à la somme des températures de l'air à 1,5 m. La figure 5 montre que le gain en somme de température entre le 14 juillet et le 1er septembre est de l'ordre de 80°C.j entre la température de l'air à 1,5 m et celle des grappes à l'ombre, pour les situations «T» et «N». Il s'élève par contre à 140°C.j, pour la situation «A».

2) Mise en évidence des principaux paramètres climatiques influant sur le régime thermique des grappes

SMART et *al.* (1977) ont montré que la température des baies au champ est fonction de la radiation solaire, de la vélocité du vent et, dans une moindre mesure, de la température de l'air. Afin de préciser l'influence sur le régime thermique des grappes de ces deux derniers paramètres, on a effectué un ajustement entre l'amplitude de température journalière à l'intérieur des grappes et la vitesse moyenne journalière du vent. Pour les trois situations, la relation entre ces deux paramètres, lors des journées de fort rayonnement (> 20 MJ/m^2), s'ajuste à deux droites (figure 6). On obtient une première droite pour les journées considérées jusqu'à la mi-août. Suite à cette date, les amplitudes thermiques à l'intérieur des grappes s'ajustent sur une deuxième droite de pente plus élevée en valeur absolue.

On observe bien, qu'à des vélocités faibles du vent (< 2 ms^{-1}), l'amplitude thermique dans les grappes s'élève significativement, alors qu'à de hautes vélocités elle diminue fortement.

Les deux relations indiquent aussi la plus forte réponse thermique des grappes en phase de maturation lors de régime de vent faible et, dans une moindre mesure, lors de régime de vent fort. Elles confirment le changement du régime thermique à l'intérieur des grappes déjà énoncé et l'hypothèse que celui-ci est dû entre autre à la fermeture des grappes et à la plus faible aération qu'elle provoque à l'intérieur de celles-ci.

Ainsi, on peut dire que de fortes amplitudes thermiques dans des grappes ombragées apparaissent lors de journées peu ventées. Inversement, on n'observe pas de forte valeur d'amplitude thermique à l'intérieur des grappes pour des journées où le vent est important et cela même pour de fortes valeurs du rayonnement solaire global journalier.

Afin de dégager, parmi l'ensemble des variables climatiques et physiologiques, celles qui sont les plus explicatives de la variation de l'amplitude thermique à l'intérieur des grappes et en fonction des trois situations, des régressions multiples ont été calculées pour chacune des situations.

Dans un premier temps, les régressions ont été établies pour l'ensemble de la période de mesure, puis on a divisé celle-ci en deux sous-ensembles de 32 jours

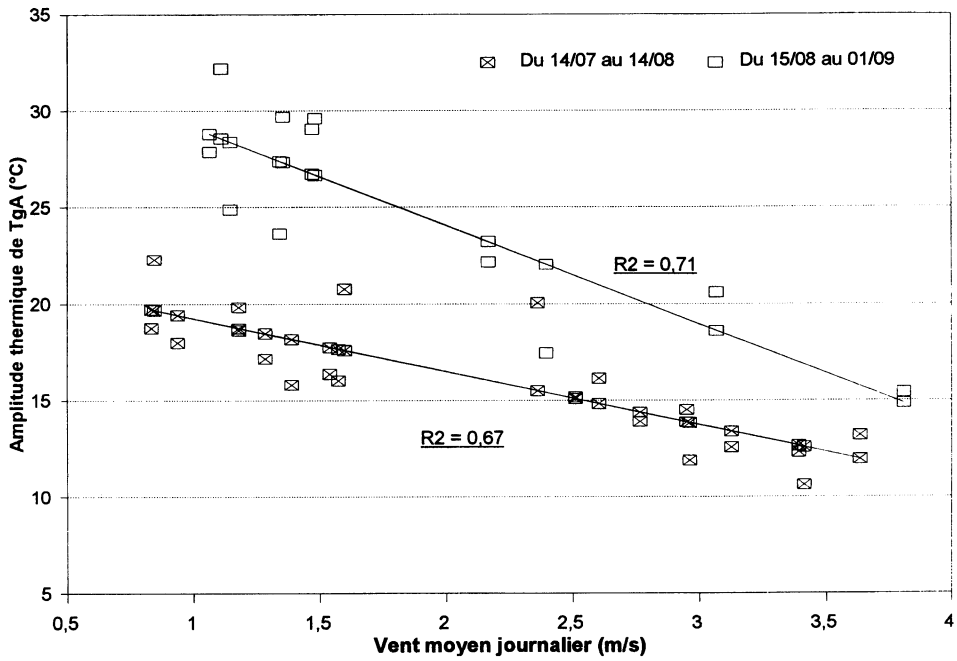


Fig. 6 — Relations entre l'amplitude thermique journalière à l'intérieur des grappes (TgxA - TgnA) et la vitesse moyenne du vent pour les journées où le rayonnement global est supérieur à 20 MJ/m^2, pour la situation «A»

(du 14 juillet au 14 août) et 18 jours (du 15 août au 1er septembre), pour tenir compte du changement de comportement thermique des grappes. L'hypothèse sous-jacente de cette partition de la période est que l'évolution du comportement thermique devrait provoquer une modification de la sensibilité à certains paramètres climatiques et donc se traduire par des ajustements de meilleure qualité que celui obtenu pour l'ensemble de la période.

Les résultats de ces analyses statistiques (tableau I) indiquent que la proportion de variation expliquée (R2) est supérieure pour chacune des deux sous-périodes à celle calculée pour l'ensemble de la période de mesure. On observe une proportion de variation expliquée maximale pour la série allant du 15 août au 1er septembre.

Les variables significatives retenues (au seuil de 5 p. cent) pour l'établissement des équations linéaires sont par ordre de contribution, en ce qui concerne la période du 14 juillet au 14 août : l'amplitude thermique journalière de l'air (Tx-Tn), la vitesse moyenne journalière du vent (VT) ainsi que le poids moyen des baies (P) ou la saturation de la coloration des baies (C), ces deux derniers paramètres se trouvent fortement corrélés. Dans le cas de la situation «A», le rayonnement global journalier (Rg) est également pris en compte dans l'équation.

Pour la période du 15 août au 1er septembre, la variable la plus explicative de la variation de l'amplitude thermique dans les grappes pour les trois situations devient le rayonnement global journalier alors que la variable amplitude thermique journalière de l'air n'entre plus dans la constitution de l'équation.

On retrouve, à travers les régressions effectuées sur l'ensemble de la période de mesure, la même hiérarchie des paramètres climatiques qui influent sur le régime thermique des grappes de raisin ombragées que celle énoncée par SMART et *al.* (1977) pour des baies au soleil. Primauté de la radiation solaire, de la vélocité du vent et de façon moindre, de la température de l'air. Toutefois, la partition de la période permet de nuancer cet ordre, en tout cas en ce qui concerne les grappes ombragées. Leur régime thermique est, dans un premier temps, principalement fonction de la température ambiante et ce n'est que suite à la véraison, et lorsque les baies sont proches de leur poids à maturation (ce qui induit dans le cas du cépage Syrah, la fermeture des grappes), que la radiation solaire devient prépondérante.

Le rôle du coefficient de réflexion (albédo) du sol sur le régime des grappes à l'ombre ressort également au travers de ces analyses. La présence du paramètre Rg, dans la première équation (du 14/07 au 14/08), pour la seule situation «A», indique que l'effet de ce revêtement sur les températures des grappes est sensible bien avant la véraison et le grossissement des

Variables climatiques et physiologiques testées pour l'élaboration des équations linéaires multiples

Rayonnement global journalier (Mj/m^2)
Vitesse moyenne du vent (m/s)
Amplitude thermique de l'air (°C)
Evapotranspiration Penman (mm)
Durée de dépassement d'une humidité relative supérieure à 80 % (h)
Température maximale (°C)
Température moyenne (°C)
Température entre 12 et 15 h solaire (°C)
Poids des baies (g)
Saturation de la couleur des baies

SYMBOLES EMPLOYÉS

Trois situations culturales :

- Revêtement en aluminium	A
- Revêtement en polyéthylène noir	N
- Sol nu	T

Pour les températures :

- A l'intérieur des grappes :

température maximale journalière	Tgx (+ A ou N ou T)
température minimale journalière	Tgn (+ A ou N ou T)
température moyenne journalière	Tgm (+ A ou N ou T)
température entre 12 et 14 TU	Tg (+ A ou T)

- De surface des grappes :

température entre 12 et 14 TU	Tgs (+ A ou T)

- Dans l'air à 33 cm du sol :

température maximale journalière	Ta33x (+ A ou N ou T)
température minimale journalière	Ta33n (+ A ou N ou T)
température moyenne journalière	Ta33m (+ A ou N ou T)

- Dans l'air à 66 cm du sol : Ta66

température maximale journalière	Ta66x (+ A ou N ou T)
température minimale journalière	Ta66n (+ A ou N ou T)
température moyenne journalière	Ta66m (+ A ou N ou T)

- De l'air ambiant à 1,5 m (station Cimel)

température maximale journalière	Tx
température minimale journalière	Tn
température moyenne journalière	Tm

TABLEAU I

Résultats de l'analyse par régressions multiples entre les principaux paramètres climatiques et les amplitudes thermiques journalières (y) mesurées dans les grappes pour chacun des traitements

	Période du 14/07 au 01/09		Période du 14/07 au 14/08		Période du 15/08 au 01/09	
Traitements	Polynôme	R^2	Polynôme	R^2	Polynôme	R^2
Aluminium A	y = 0,83 Rg - 0,04 VT + 0,33 (Tx - Tn) + 13,00 P - 12,39	0,77	y = - 0,02 VT + 0,88 (Tx - Tn) + 4,14 P + 0,26 Rg + 1,24	0,88	y = 1,39 Rg - 0,06 VT - 6,46 C + 23,27	0,94
R^2 partiels	0,62 / 0,12 / 0,03		0,46 / 0,33 / 0,05 / 0,04		0,85 / 0,08 / 0,01	
Polyéthylène noir N	y = 0,54 Rg - 0,04 VT + 0,34 (Tx - Tn) + 11,17 P - 8,65	0,71	y = 0,91 (Tx - Tn) - 0,02 VT + 7,01	0,72	y = 0,94 Rg - 0,04 VT + 6,06	0,92
R^2 partiels	0,56 / 0,14 / 0,02		0,49 / 0,23		0,68 / 0,24	
Sol nu T	y = 0,42 Rg - 0,02 VT + 0,53 (Tx - Tn) + 6,68 Pt - 2,68	0,75	y = 1,02 (Tx - Tn) - 0,01 VT - 0,07 C + 7,21	0,78	y = 1,14 Rg - 0,04 VT - 4,94 C + 17,32	0,96
R^2 partiels	0,57 / 0,15 / 0,02		0,59 / 0,18 / 0,01		0,71 / 0,17 / 0,08	

baies. Ces changements physiologiques vont, pour les trois situations, renforcer l'influence du rayonnement diffus et de la part réfléchie de la radiation solaire sur la détermination du régime thermique des grappes ombragées.

CONCLUSION

Les modifications des états de surface du sol, grâce à des revêtements artificiels, semblent se répercuter de façon notable, au moins dans le cas du revêtement aluminium, sur le microclimat des parties aériennes de la vigne et principalement sur le régime thermique des grappes de raisins. Il apparaît nettement qu'au dessus de ce revêtement l'accumulation d'énergie dans les grappes, en phase diurne, soit sensiblement modifiée par rapport à celle de la situation de référence représentée par le sol nu. L'accentuation «extrême» de l'albédo rend compte de la primauté du coefficient de réflexion des sols sur le comportement thermique des grappes plutôt que de leur capacité à transmettre de l'énergie sous forme de chaleur sensible. En effet, le revêtement en polyéthylène noir induit peu de différence par rapport au sol nu.

Cette étude souligne également l'importance de la turbulence de l'air sur l'échauffement des grappes. On a pu voir que cet effet s'atténue au cours de la maturation, mais il doit dépendre fortement de la fermeture des grappes et de leur compacité. Il s'agit, avec le changement de couleur des baies, des hypothèses explicatives de l'évolution du comportement thermique des grappes à partir de la véraison et au cours de la maturation. La première a pour conséquence de modifier les processus de conduction et de convection dans les grappes. La seconde fait chuter l'albédo des baies et donc augmenter l'absorption du rayonnement à leur surface. Leur étude sera reprise et développée dans un prochain article afin de mettre en évidence leur influence dans l'évolution du régime thermique des grappes et les fortes températures enregistrées au cours de la période de maturation. Fortes températures qui ne sont, par ailleurs, certainement pas sans effet sur les métabolismes des baies.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CARBONNEAU A., 1983. Méthodes de mesure simple de la surface foliaire par hectare, élément déterminant du système de conduite de la vigne. *Connaissance Vigne Vin*, **17**, n°4, 381-285.

CHAMBROY. Y., SOUTY M., ROBIN J.P. et FLANZY C., 1985. Température et métabolisme anaérobie du raisin. *C.R. Acad. Agric.*, **71**, 821-827.

HALE C.R. et BUTTROSE M.S., 1974. Effects of temperature on ontogeny of berries of *Vitis vinifera* L. CV. Cabernet Sauvignon. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **99**, n°5, 390-394.

KLIEWER W.M. et SCHULTZ H.B., 1964. Influence of environment on metabolism of organic acids and carbohydrates in *Vitis vinifera*. *Am. J. Enol. Vitic.*, ?, 119-129.

KLIEWER W.M. et LIDER L.A. 1970. Effects of day temperature and light intensity, on growth and composition of *Vitis vinifera* grapes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **95**, 766-769.

KLIEWER W.M., LIDER L.A. et FERRARI N., 1972. Effects of controlled temperature and high temperature and light intensity on growth an carbohydrate levels of « Thompson seedless » grapevines. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*,**97**, n°2, 185-188.

KLIEWER W.M., 1977. Effect of high temperatures during the bloom-set période on fruit-set, ovule fertility and berry growth of several grape cultivars. *Am. J. Enol. Vitic.*, **28**, n°4, 215-222.

NIGOND J., DURAND R. et TABARD P., 1968. Quelques aspects de l'action du microclimat sur la vigne et les arbres fruitiers. *Phytoma*, **192**, 20-30.

PEYNAUD E. et RIBÉREAU-GAYON P., 1971. *The grape in the biochemistry of fruits and their products*. A.C. HULME (Ed) Acad Press, New-York, 171-205.

RAVAZ M.L., 1908. Influence des opérations culturales sur la végétation et la production de la vigne. *Ann. de l'E.N.A.*, Montpellier, **VIII**, 232-291.

SMART R.E. et SINCLAIR T.R., 1976. Solar heating of grape berries and other spherical fruits. *Agric. Meteorol.*, **17**, 241-259.

SMART R.E., DRY P.R. et BRUER D.R.G., 1977. Les températures des baies au champ et leurs effets sur la composition du fruit. *Symp. Int. sur la qualité de la vendange*, Le Cap, Afrique du Sud, p. 27-231.

SAUVAGE F.X., ROMIEU C.G., SARRIS J., PRADAL M., ROBIN J.P. et FLANZY C., 1991. Evolution de quelques activités enzymatiques au cours de la maturation du raisin. Influence d'un stress hypoxique après la vendange. *Rev. Fr. Œnol.*, **132**, 14-20.

SAUVAGE F.X., IGOUNET O., BOULET J.C., RAZUNGLES A., BALDY C. et ROBIN J.P., 1995. Modification du microclimat radiatif chez la vigne : stress thermique des grappes, répercussions sur la composition du moût et sur la qualité du vin. *5e Symp. Int. Œnol.*, Bordeaux, 15-17 juin 1995.

VARLET-GRANCHER C. et BONHOMME R., 1974. Utilisation de l'énergie solaire par une culture de *Vigna sinensis*. *Ann. Agron.*, **22**, n°5, 515-525.

VAUTIER Ph., SIMON J.L., GNAGI F., KOBLET W. et TANNER H., 1978. Processus de maturation des grappes ensoleillées directement et des grappes situées à l'ombre du feuillage (*Vitis vinifera*). *Rev. Suisse Vitic. Arbor. Hort.*, **10**, 7-12.

VERBRUGGHE M., GUYOT G., HANOOCQ J.F. et RIPOCHE D., 1991. Influence des différents types de sol de la basse vallée du Rhône sur les températures de surface de raisins et des feuilles (*Vitis vinifera*). *Rev. Fr. Œnol.*, **128**, 14-20.

VERBRUGGHE M. et GUYOT G., 1992. Note sur l'étalonnage de radiothermomètres infrarouges portables. *Agronomie*, **12**, 79-83.

Manuscrit reçu le 17 août 1994,
accepté pour publication le 21 juillet 1995