

**RÉGIME THERMIQUE DU RAISIN (*VITIS VINIFERA* L.,  
CÉPAGE SYRAH) EN COURS DE MATURATION.  
INFLUENCE DE LA COULEUR DES BAIES,  
DU DEGRÉ DE COMPACTITÉ DES GRAPPES  
ET DU RÉGIME ÉOLIEN LOCAL**

**THERMAL REGIME OF THE GRAPE  
(*VITIS VINIFERA* L. SYRAH GRAPES) DURING MATURATION.  
INFLUENCE OF THE BERRY COLORATION, THE COMPACTNESS  
DEGREE OF THE GRAPE AND THE LOCAL WIND REGIME**

O. IGOUNET\*, C. BALDY\*\*, B. SUARD\*\*, F.-X. SAUVAGE\*\*\*, F. LOPEZ\*\*\*,  
J.-C. BOULET\*\*\*\* et J.-P. ROBIN\*\*\*

\*ULP, Centre d'Études et de Recherches Eco-Géographiques, URA95 CNRS,  
67083 Strasbourg (France)

\*\*INRA, Laboratoire d'Étude des Plantes sous Stress Environnementaux,  
34060 Montpellier (France)

\*\*\*INRA, ISVV-IPV, Laboratoire de Biochimie Métabolique et Technologie,  
34060 Montpellier (France)

\*\*\*\*INRA, ISVV-IPV Montpellier, Station Expérimentale de Pech-Rouge,  
11430 Gruissan (France)

**Résumé :** Les auteurs présentent les résultats d'une expérimentation réalisée sur le cépage Syrah visant à étudier le régime thermique supporté par les baies et les grappes au cours de leur maturation et à déterminer les principaux facteurs qui sont responsables des modifications de ce régime thermique. Les résultats montrent que deux principaux facteurs sont à l'origine de ces modifications: l'albédo des baies qui diminue suite à leur coloration au moment de la véraison et l'augmentation de la compacité des grappes. Deux paramètres thermiques qui permettent de quantifier le régime thermique des grappes ont pu être définis: la sensibilité thermique au vent qui est directement dépendante de l'indice de compacité des grappes et la capacité d'accumulation de la chaleur qui est liée aussi à la compacité des grappes mais également au phénomène de coloration. L'importance du degré de compacité ou d'aération de la grappe en liaison avec le régime éolien local a été relevée. Au niveau pratique, il y aurait lieu de mieux prendre en compte toute intervention susceptible de modifier le régime éolien soit au niveau des grappes soit même au niveau de la parcelle. Une méthode photographique d'estimation de l'indice de compacité des grappes de raisin sur souche a par ailleurs été utilisée.

**Abstract :** The authors present the results of an experimentation realized on Chiraz grapes with the aims to study the thermal regime supported by berries and clusters during their maturation and to determine the main factors responsible for the observed modifications. The results show that two important factors explain these modifications, firstly, the albedo of the berries which is strongly decreasing as a consequence of the light absorption and subsequent coloration of the berries during the veraison phase and secondly, the increase of the cluster compactness. Two thermic parameters allowing the characterization of the thermal regime of the Chiraz grapes have been defined :- the thermal sensibility of the clusters towards the wind velocity directly depending on the compactness or aeration degrees of the grapes, and - the maximum capacity to accumulate heat which is also linked to cluster compactness but essentially depending on the berries coloration. The effect of the compactness or aeration degree of the grape on the thermal regime in relation with the local wind regime has also been described. In practice, it would have been better to take attention to any cultural intervention modifying the wind regime around the vine stocks or surrounding the parcel. A photographic method for estimating the compactness degree of the grape clusters on the vine stock has been used.

**Mots clés :** *Vitis vinifera*, température, microclimat, régime éolien, maturation, albédo, coloration des baies, compacité des grappes.

**Key words :** *Vitis vinifera*, temperature, microclimate, wind regime, maturation, albedo, berry coloration, grape compactness.

## INTRODUCTION

L'importance du régime thermique subi par les baies de raisin au cours de leur maturation, sur la physiologie de la baie ou sur la composition du moût au moment de la vendange et sur la qualité du vin qui en résulte est largement reconnue.

De nombreux travaux ont surtout concerné l'effet de la température des baies sur des points particuliers comme leur respiration (PEYNAUD et RIBÉREAU-GAYON, 1971 ; ROMIEU *et al.*, 1992) ou leur transpiration en liaison avec le comportement stomatique (CREAZY et LOMBARD, 1993), comme le métabolisme des acides organiques (KLIEWER et LIDER, 1968 ; KLIEWER, 1971, 1973), ou encore comme la modulation de diverses activités enzymatiques (LAKSO et KLIEWER, 1975) ou de certaines isoenzymes qui seraient thermo-inductibles (TAUREILLES *et al.*, 1995).

D'autres travaux ont par contre, porté sur des aspects plus généraux de la composition des baies (RADLER, 1965 ; KLIEWER 1968 ; SMART *et al.* 1977). Cependant, plus rares ont été les études qui ont concerné l'influence du pédoclimat, du mode de conduite ou encore de la structure et du développement des grappes, sur la température des baies et sur le régime thermique des grappes au cours de leur maturation (SMART et SINCLAIR, 1976 ; VERBRUGGHE *et al.*, 1991).

Une expérimentation récente menée sur le cépage Syrah pendant les campagnes 92, 93 et 94 (IGOUNET *et al.*, 1995) constitue une première tentative de quantification des effets thermiques supportés par les grappes au cours de leur maturation. Les résultats obtenus confirment l'importance du microclimat radiatif et thermique du cep sur la composition biochimique des moûts et sur la qualité du vin qui en résulte. Cette expérimentation montre par ailleurs, que l'on peut sensiblement modifier le régime thermique des grappes et par voie de conséquence la composition des moûts et de vins, par une solarisation renforcée des ceps à l'aide de réflecteurs installés autour des souches (SAUVAGE *et al.*, 1995).

Le travail qui est présenté dans ce rapport a eu pour buts d'une part, de compléter l'étude préliminaire déjà rapportée (IGOUNET *et al.*, 1995), et d'autre part, de déterminer quels sont les principaux facteurs responsables des modifications du régime thermique des baies et des grappes en cours de maturation et de tenter d'en quantifier les effets respectifs.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### I — MATÉRIEL VÉGÉTAL

L'expérimentation a été réalisée durant les étés 1993 et 1994, à partir d'une parcelle du cépage Syrah du domaine de la Station Expérimentale de l'INRA de Pech-Rouge, près de Narbonne, Aude, France (zone d'appellation Corbières). Les caractéristiques de cette parcelle sont indiquées dans le tableau I.

TABLEAU I

#### Caractéristiques de la parcelle expérimentale

Lieu-dit	Le Planas
Année de plantation	1974
Porte-greffe	110 R
Mode de conduite	Guyot simple palissé (à 35 et 120 cm)
Nature du sol	Argilo-calcaire dérivé sur marnes et marno-calcaires à orbitolines
Altitude	60 m
Couche géologique	Crétacé inférieur (Clansagésien)
Surface plantée	0,5 ha
Densité de plantation	2,25 x 1,50 m
Orientation des rangs	NO-SE
Rendement par pied	Environ 2 kg
Engrais	400 kg/ha/an 4/7/7

### II — MÉTHODES DE MESURE

#### 1°) Températures des grappes

La température de surface des baies a été mesurée à l'aide d'un radiothermomètre (Rayteck™) sensible au rayonnement de longueur d'ondes comprises entre 8 et 14  $\mu\text{m}$ . Il est étalonné à partir de la mesure de deux températures, celle de l'eau chaude (50-60 °C) et celle de l'eau froide (0-10 °C). Toutes les mesures sont réalisées à la même heure, vers midi solaire, et à environ 30 cm de distance de la baie.

La température à l'intérieur des grappes a été mesurée à l'aide de thermistances (modèle Betatherm™) qui ont été glissées début juillet à l'intérieur de grappes préalablement choisies à environ 50 cm du sol, dégagées de tout ombrage et orientées coté ouest de façon à être ensoleillées pendant l'après-midi, compte tenu de l'orientation des rangs. Ces capteurs sont reliés à une centrale d'acquisition de données (modèle CR10, Campbell™) qui enregistre la température toutes les 15 mn.

2°) Température de l'air

Lors des mesures de température de surface des baies, la température de l'air qui sert à déterminer les écarts thermiques est mesurée simultanément à 20 ou 30 cm au dessus de la canopée, à l'aide d'un thermo-hygromètre Quick™. Dans le cas des mesures continues de température à l'intérieur des grappes, les écarts thermiques sont calculés par référence à la température de l'air mesurée par une thermistance située à proximité de chacune des grappes expérimentées.

3°) Coloration des baies

La coloration des baies est mesurée à l'aide d'un chromamètre Minolta™ CR 200. Cet appareil permet de mesurer la couleur des baies dans tout le spectre visible, dans un espace de couleur non linéaire à trois déterminants, L\*, a\*, b\*, directement lié à la perception visuelle des couleurs et établi par la Commission Internationale de l'Éclairage (CEI). La couleur est ainsi définie par :

- la clarté ou Luminance L\*, variant du clair (100) à l'opaque (0),
- la saturation C (Chroma), donnée par  $\sqrt{(a^*2 + b^*2)}$ , variant du lumineux (100) au terne (0),
- la teinte ou angle de teinte Ho (Hue) donnée par  $\text{Arctan}(b^*/a^*)$ , exprimée en degrés, variant de +180° à -180°, avec a\* variant du vert (-60) au rouge (+60), et b\* variant du bleu (-60) au jaune (+60).

Chaque détermination de couleur à une date donnée, correspond à la couleur moyenne d'environ 400 baies de grappes différentes choisies au hasard sur la parcelle.

4°) Données météorologiques

Les températures moyenne, minimum et maximum de l'air, tout comme la vitesse moyenne du vent et sa direction, sont fournies par une station Cimel™ locale.

III — MÉTHODE D'ESTIMATION DE L'INDICE DE COMPACITÉ DES GRAPPES

Huit des dix grappes au sein desquelles une thermistance a été installée ont été retenues afin de déterminer et de suivre leur l'indice de compacité tout au long de la période de maturation. Des photographies de ces grappes ont été régulièrement réalisées et traitées à l'aide d'un analyseur d'images (logiciel Optimas) qui permet de calculer l'aire et la dimension des objets. En faisant l'hypothèse que le squelette de la grappe (la rafle) n'évolue pas ou très peu au cours de la maturation et en considérant que les baies restent sphériques pendant la même période, l'indice de compacité jour-

nalier (IC) de chaque grappe, peut être estimé par la formule

$$IC = 2 Nv Vb / Vext$$

dans laquelle :

Nv représente le nombre de baies visibles dans le plan de la photographie,

Vb le volume moyen journalier d'une baie moyenne, calculé à partir de la connaissance de son poids moyen qui est relié à son diamètre par la relation expérimentale

$$P = 0,0019 D^{2,7} \text{ et,}$$

Vext la différence entre le volume total de la grappe Vg et le volume du vide à l'intérieur de celle-ci Vv (figure 1).

L'indice de compacité qui est calculé par cette formule correspond en fait à l'indice de compacité des baies qui se trouvent dans la couche périphérique de la grappe visible pour moitié par l'objectif de l'appareil photographique. L'indice qui est ainsi calculé surestime certainement celui de la zone intérieure de la grappe. L'approximation effectuée peut cependant se justifier si l'on considère que c'est justement cette couche externe qui conditionne l'aération de la partie interne de la grappe.

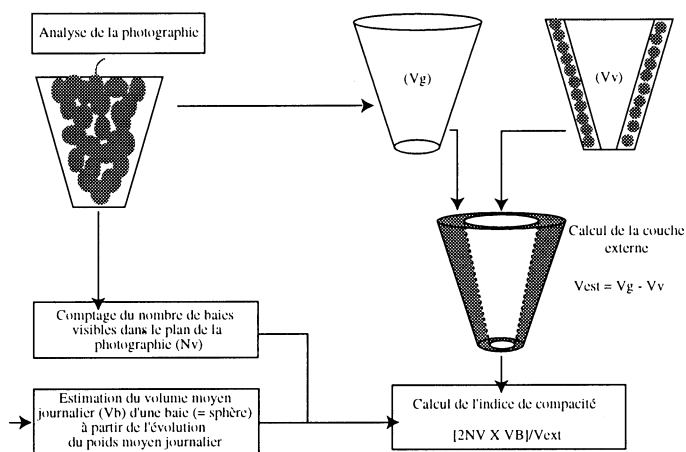


Fig. 1 - Schéma de principe de la démarche suivie pour estimer l'indice de compacité des grappes.

Les dimensions mesurées par analyse d'image permettent de calculer les volumes Vg et Vv.

RÉSULTATS

I — MODIFICATION DE LA RÉPONSE THERMIQUE DES GRAPPES AU COURS DE LA MATURATION

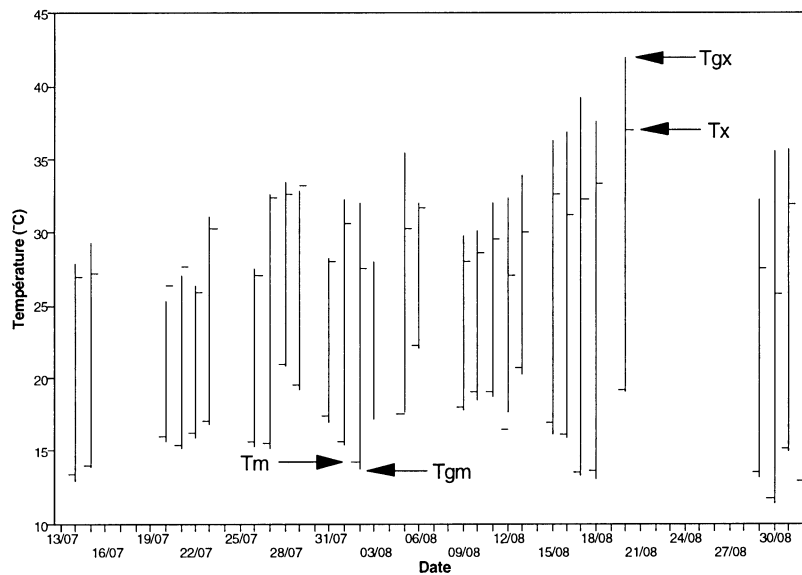


Fig. 2 — Amplitudes thermiques dans une grappe de raisin Syrah et dans l'air à sa proximité, mesurées du 13/07 au 01/09/93.

Tx : température maximum de l'air - Tm : température minimum de l'air -  
Tgx : température maximum à l'intérieur de la grappe - Tgm : température minimum à l'intérieur de la grappe

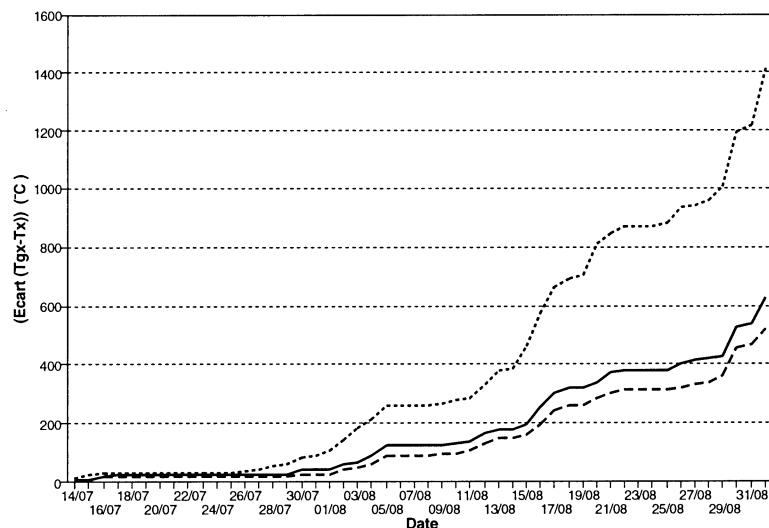


Fig. 3 — Cumul des carrés des écarts ( $T_{gx} - T_x$ ), entre les températures maximales journalières au sein de trois des grappes examinées et de celles de l'air à leur proximité, pendant la campagne 93.

1°) Amplitudes thermiques journalières au sein de la grappe comparées à celles de l'air

L'amplitude des variations de température interne aux grappes entre le jour et la nuit, est illustrée par la figure 2, pour l'une des grappes retenues et pour toutes les journées de la période où le rayonnement global est supérieur à 20 MJ. On constate que la température maximale à l'intérieur a tendance à augmenter progressivement au cours de la maturation, avec un maximum de 42°C le 20 août 1993. Il en est de même de l'amplitude thermique dans la grappe durant la même période comparée à celle de l'air à sa proximité. D'une dizaine

de degrés en juillet, cette amplitude dépasse fréquemment 20°C à partir de la mi-août. Ainsi, un décrochage significatif entre les températures maximales journalières enregistrées pour les grappes ( $T_{gx}$ ) et les températures maximales de l'air ( $T_x$ ) semblerait se produire vers la fin juillet : l'écart thermique qui n'excède pas 2°C en juillet peut atteindre 10°C vers la fin août. On n'observe pas, par contre, de différenciation pour les températures minimales de grappes, celles-ci restent proches de celles de l'air à proximité, quoique légèrement plus froides, fait qui s'explique généralement par l'émission de radiations de grandes longueur d'onde durant la nuit.

L'évolution présentée sur la figure 2 est commune à toutes les grappes suivies sur la même période, même si des différences notables dans les niveaux de température atteints peuvent apparaître d'une grappe à l'autre, compte tenu de leur hétérogénéité et de leur position respective. Une température maximum de 50 °C a pu être observée dans une grappe, également le 20 août, fait qui se trouve bien en accord avec les observations réalisées par VERBRUGGHE et *al.* en 1991.

2°) Evolution des écarts thermiques cumulés

L'évolution du régime thermique des grappes au cours de la période estivale peut être représentée par le cumul des écarts thermiques entre la température à l'intérieur de la grappe et la température de l'air à proximité (écarts  $T_{gx} - T_x$ ) (IGOUNET et *al.*, 1995). Afin de mieux mettre en évidence les différenciations entre grappes et pour mieux définir le moment où la « contrainte » commence à apparaître, les écarts ont été élevés au carré. La figure 3 montre ainsi l'évolution de cette contrainte pour trois des grappes examinées. Là encore, on notera la différence que l'on peut avoir entre une grappe et une autre en fonction de leur hétérogénéité structurelle propre et en fonction de leur degré d'exposition. On observe également que le démarrage de la modification du régime thermique a lieu vers la fin du mois de juillet, date qui correspond à la date du décrochage observé sur la figure 2.

3°) Modification du régime thermique des grappes et dynamique de coloration des baies

L'évolution des écarts thermiques observée en 94 pour quatre grappes différentes (figure 4) est semblable

à celle montrée précédemment pour la campagne 93. Cependant, le démarrage de la contrainte thermique se produit ici un peu plus tôt (vers le 20 juillet). Si l'on compare cette évolution à celle de la couleur des baies, mesurée *in situ* à l'aide du chromamètre Minolta et jugée par le paramètre clarté  $L^*$ , on observe une quasi-concomitance dans le démarrage des deux phénomènes. On notera par ailleurs, que cette période importante de la maturation du raisin correspond aussi au démarrage de la chute de fermeté des baies ou de leur ramollissement (ROBIN et *al.*, 1995); c'est la raison pour laquelle cette période a été qualifiée de véraison rhéologique (VR), pour la différencier de la véraison classique (VC), qui se produit une quinzaine de jours plus tard (figure 4).

L'ensemble des résultats précédents indiquent que le phénomène de coloration caractérisant la véraison du raisin Syrah, ou caractérisant par extension la maturation de tous les cépages noirs, et modifiant fortement son albédo, semble être l'un des principaux facteurs déterminant le comportement thermique des baies et par suite celui des grappes qui les portent.

4°) Influence de la coloration des baies sur leur température de surface

La conclusion précédente se trouve renforcée si l'on considère la relation entre la couleur des baies, jugée ici par l'angle de teinte  $H_o$ , et la température de surface des baies mesurée au radiothermomètre Rayteck, ces deux paramètres étant mesurés concomitamment sur différentes baies de grappes au soleil, vers midi solaire. On observe effectivement (figure 5) une relation quasi-linéaire entre les deux paramètres, ce qui démontre bien que la modification de l'albédo des baies,

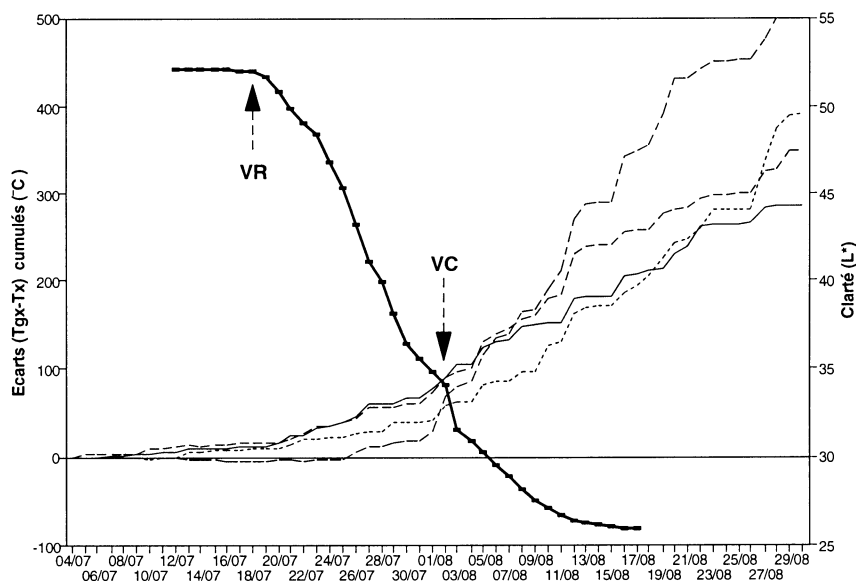


Fig. 4 — Comparaison entre l'évolution du cumul des écarts thermiques ( $T_{gx}-T_x$ ) élevés au carré, et l'évolution *in situ* de la clarté ( $L^*$ ) d'un échantillon de 400 baies. VC = véraison au sens classique, VR = véraison rhéologique. Campagne 94.

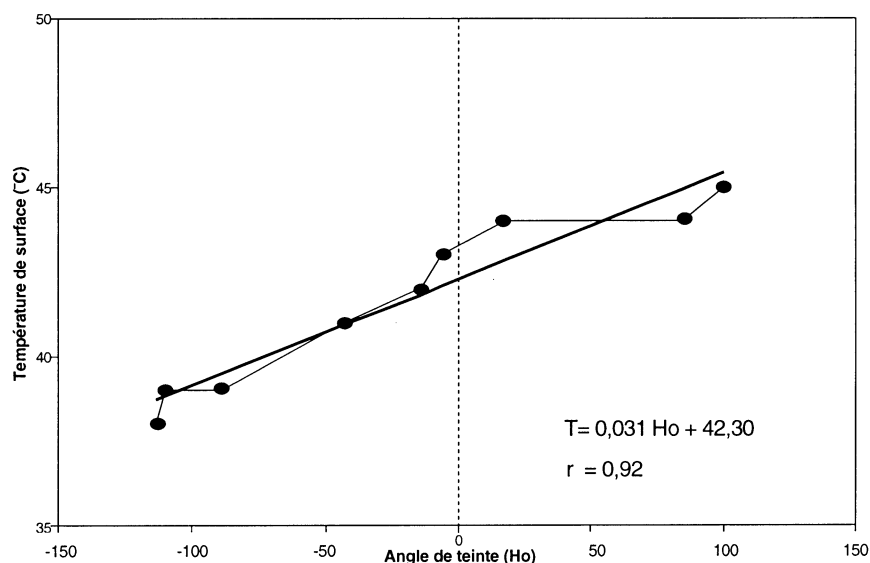


Fig. 5 - Relation entre la température de surface des baies et l'angle de teinte Ho (journée du 10/08/94, avec  $T_x = 34,4\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_m = 23\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V$  moy. du vent = 1,5 m/s et  $RG = 20,6\text{ MJ/m}^2$ ).

Chaque point correspond à une mesure de température et de couleur sur une même baie exposée au soleil.

Toutes les baies sont mesurées à la même heure et peuvent appartenir à des grappes différentes mais d'exposition semblable.

du fait de leur changement de couleur et surtout de leur assombrissement général, est un facteur important de la modification observée dans le comportement thermique du raisin.

On notera que la pente générale de la relation linéaire observée ici entre la température des baies et leur angle de teinte doit être fonction des conditions thermo-éoliennes journalières de la parcelle, les journées à fort ensoleillement et faiblement ventées se traduisant par un échauffement plus important des baies et donc par une pente plus forte. On peut considérer que ce type de courbe caractérise l'échauffement instantané diurne (pente  $\Delta T/\Delta H_o$ ) des baies en fonction de leur état individuel de maturité et des conditions climatiques de la journée.

## II — RELATIONS ENTRE RÉGIME THERMIQUE DES GRAPPES ET RÉGIME ÉOLIEN

Comme on vient de le voir, le régime thermique des grappes est fortement dépendant de l'évolution de la couleur des baies en cours de maturation et il est sans nul doute influencé par les conditions thermo-éoliennes ambiantes. Pour tenter de caractériser l'incidence du régime éolien sur le comportement thermique des baies et des grappes, la période de maturation a tout d'abord été scindée en ses trois phases principales, telles que celles qui apparaissent si l'on se réfère à la courbe de coloration (de la clarté  $L^*$ ) présentée sur la figure 4,

phase 1 : du 4 au 20 juillet, phase où les baies sont encore toutes vert-jaunes et où il n'y a pas de changement de couleur mesurable,

phase 2 : du 21 juillet au 12 août, période où s'effectue le changement de coloration des baies (passage du vert-jaune au bleu très foncé) et qui englobe en particulier la phase de véraison au sens classique (VC). On peut rappeler que le début de cette seconde phase correspond à ce que l'on a appelé la « véraison rhéologique » (VR),

phase 3 : à partir du 13 août jusqu'à la date des vendanges, phase dans laquelle toutes les baies ont véré et où la couleur n'évolue plus.

Les écarts thermiques ( $T_{gx} - T_x$ ) afférent à chacune de ces trois périodes ont ensuite été corrélés avec les vitesses moyennes journalières du vent pour ces mêmes périodes. Les résultats obtenus pour l'une des grappes sont représentés sur la figure 6. Des résultats très voisins sont obtenus pour les autres grappes.

Pour chacune des trois phases, on constate que les couples écart thermique ( $T_{gx} - T_x$ ) - vitesse moyenne du vent, se distribuent avec une assez bonne corrélation sur des droites dont les valeurs absolues de pente (a) et les ordonnées à l'origine (b) sont d'autant plus grandes que la maturation est plus avancée. On observe donc à partir de cette figure l'influence très nette de la vitesse du vent sur le régime thermique d'une grappe en fonction de son état de maturité. L'échauffement de la grappe par rapport à l'air s'accroît au cours de la maturation, surtout lorsque la vitesse du vent est faible. Par contre, une vitesse élevée du vent tend toujours, quel que soit l'état de maturité, à ajuster la température des grappes à celle de l'air à proximité.

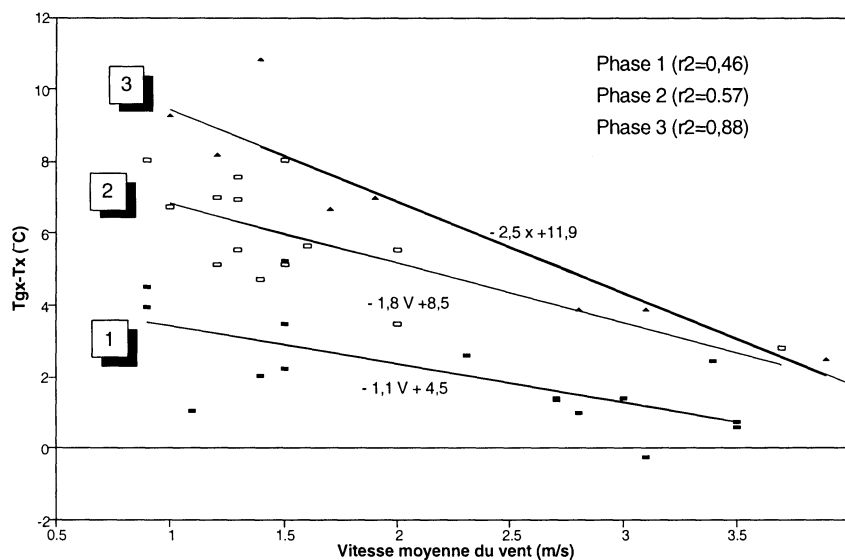


Fig. 6 — Ajustements linéaires de la relation entre l'écart thermique (Tgx - Tx) journalier et la vitesse moyenne journalière du vent, pour les trois phases de maturation précédemment définies (grappe n° 2, tableau II).

**TABLEAU II**

**Paramètres des ajustements linéaires entre l'écart thermique (Tgx - Tx) et la vitesse moyenne journalière du vent, pour les huit grappes examinées, et en fonction du découpage de la période de maturation en ses trois phases 1, 2 et 3 (campagne 94)**

n°grappe	Phase 1			Phase 2			Phase 3		
	r2	a	b	r2	a	b	r2	a	b
1	< 0,5	- 0,35	2,0	0,7	- 2,4	10,6	0,9	- 3,2	16,1
2	< 0,5	- 1,10	4,5	0,6	- 1,8	8,5	0,9	- 2,5	11,9
3	< 0,5	- 0,81	3,7	0,7	- 1,56	7,9	0,9	- 2,4	10,4
4	0,64	- 0,80	2,8	0,5	- 0,7	5,2	0,9	- 2,1	9,1
5 et 5'*	0,51	- 1,50	6,7	0,7	- 2,5	13,2	0,9*	- 4,9*	23,8*
6	0,74	- 1,80	5,8	0,6	- 1,2	8,2	0,8	- 2,6	14,6
7	< 0,5	- 0,25	0,8	0,8	- 2,6	11,7	0,9	- 2,8	17,8
8	0,81	- 1,20	3,7	0,6	- 1,2	6,2	0,8	- 2,0	11,0

\*La grappe 5 a été accidentellement détruite en début de phase 3. Elle a été remplacée par la grappe 5' de comportement thermique différent.

On peut considérer que la valeur absolue de la pente (a) des droites de corrélation représente la sensibilité thermique des baies au vent et que l'ordonnée à l'origine (b) représente leur capacité d'accumulation thermique (écart thermique maximum à vent nul). Si *a priori*, la capacité d'accumulation thermique peut paraître d'autant plus forte que l'albédo du fruit, ou sa coloration, est plus importante, il paraît moins évident que sa sensibilité thermique au vent soit aussi associée à une forte coloration. On verra dans le paragraphe IV qu'un autre facteur physique doit être pris en compte pour expliquer notamment l'effet sur la capacité d'accumulation thermique.

Quoi qu'il en soit, les coefficients a et b sont à considérer comme deux paramètres importants permettant de caractériser le comportement thermique des baies et des grappes, en intégrant à la fois la climatologie (température, vitesse et orientation du vent) et la physiologie de la baie (maturation et coloration).

Le détail des résultats concernant les ajustements entre (Tgx - Tx) et la vitesse moyenne journalière du vent pour les huit grappes examinées et pour la répartition en trois stades précédemment définis est donné dans le tableau II. Pour les raisons déjà évoquées plus haut, on peut constater que les coefficients a et b des

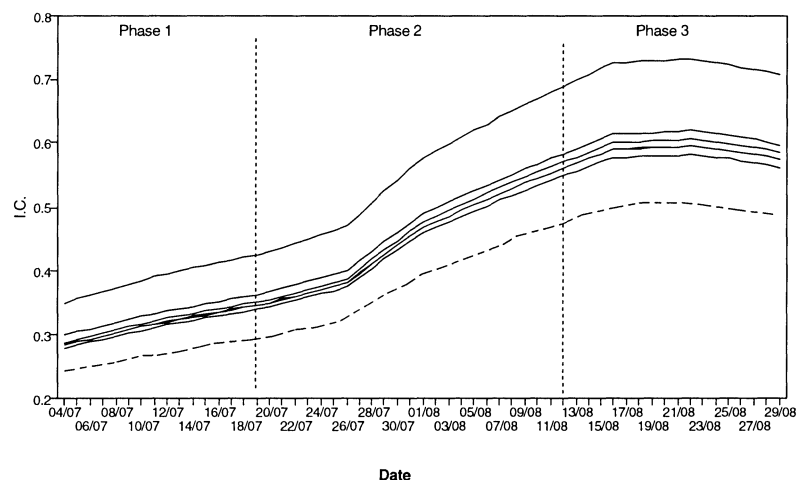


Fig. 7 - Évolution de l'indice de compacité (IC) des grappes de Syrah du 4/07 au 28/08/94. Les traits verticaux correspondent à la séparation entre les phases 1, 2 et 3, telles qu'elles ont été définies à partir de la figure 4.

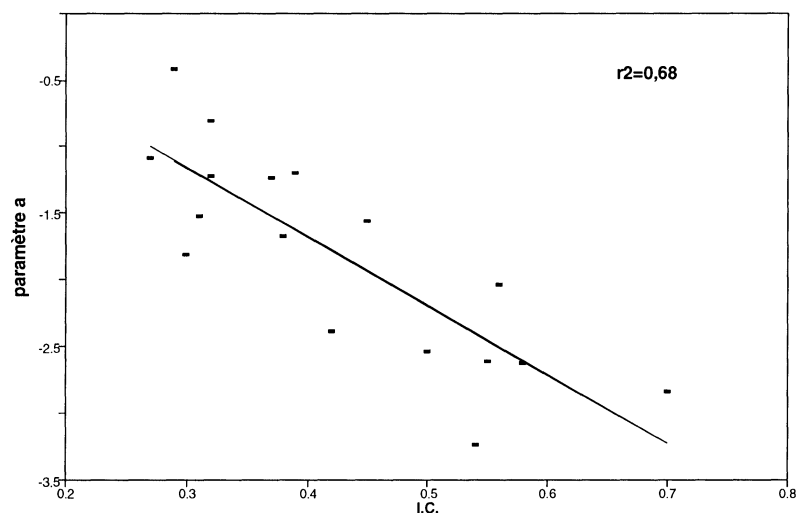


Fig. 8 — Relation entre le paramètre a ou sensibilité thermique des grappes au vent et l'indice de compacité. a est exprimé en  $^{\circ}\text{C}$  par  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  de vent.

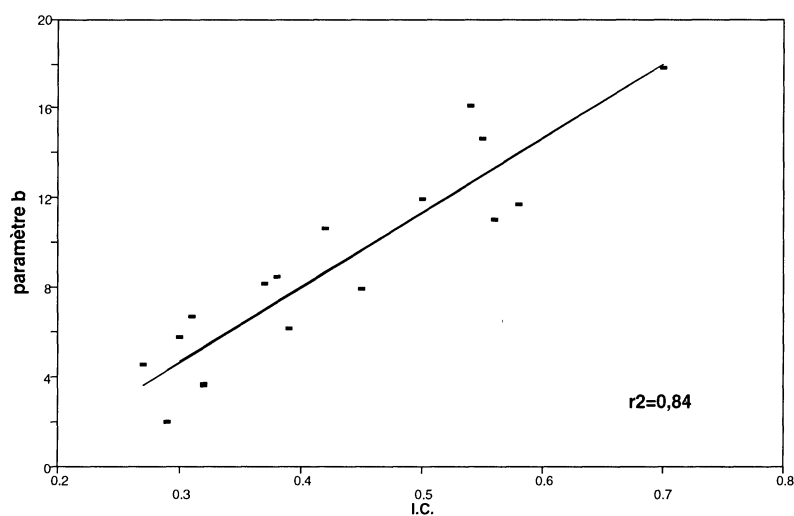


Fig. 9 — Relation entre le paramètre b ou capacité d'accumulation thermique des grappes et l'indice de compacité. b est exprimé en  $^{\circ}\text{C}$ .

droites d'ajustement varient assez fortement d'une grappe à l'autre. On remarque par ailleurs, que la corrélation est d'autant meilleure que le stade de maturité est plus avancé.

### III — ÉVOLUTION DE L'INDICE DE COMPACITÉ DES GRAPPES AU COURS DE LA MATURATION

Les courbes d'évolution de l'indice de compacité des grappes (IC) déterminé par la méthode photographique, au cours de la période de maturation des baies de Syrah sont rassemblées sur la figure 7. On constate que les évolutions individuelles des indices sont semblables quelle que soit la grappe considérée, avec cependant deux grappes dont les positionnements se démarquent sensiblement des autres, l'une présentant des indices systématiquement plus élevés, l'autre des indices systématiquement plus faibles, fait qui peut s'expliquer entre autre par l'hétérogénéité du squelette de la rafle chez ce raisin. Les évolutions présentées permettent de distinguer trois phases assez distinctes. Une première phase où l'indice augmente faiblement jusque vers le 26 juillet (le taux d'aération moyen,  $100 \cdot (1-IC)$ ), des grappes passant de 72 à 65 p. cent), puis une phase intermédiaire d'augmentation rapide (les grappes se « ferment ») entre le 26 juillet et le 16 août (diminution du taux d'aération moyen de 65 à 45 p. cent). Enfin une phase de stabilisation et ou de décroissance de l'indice depuis cette dernière date jusqu'à la date de vendange (47-50 p. cent de taux moyen d'aération, avec un minimum et un maximum respectivement voisins de 30 et de 50 p. cent). On notera que les différentes phases d'évolution que l'on peut distinguer ici ne recouvrent pas exactement les trois phases que l'on a pu distinguer à partir de la dynamique de coloration des baies (figure 4).

### IV — RELATIONS ENTRE LA COMPACITÉ DES GRAPPES ET LES PARAMÈTRES THERMIQUES (A) ET (B)

Les indices de compacité journaliers des sept grappes étudiées ont été associés à leurs paramètres thermiques (a) et (b) respectifs pour les trois phases précédemment considérées (tableau II). Les corrélations obtenues sont respectivement représentées sur la figure 8 pour le paramètre (a), et sur la figure 9 pour le paramètre (b).

La figure 8 indique que la sensibilité thermique au vent (a) des grappes tend à diminuer lorsque l'indice de compacité augmente (ou que le taux d'aération diminue), alors que la figure 9 montre au contraire, que leur capacité d'échauffement (b) tend à augmenter. La corrélation est dans ce dernier cas meilleure que pour la sensibilité thermique ( $r^2 = 0,84$  contre 0,68). Ainsi, plus une grappe est compacte, moins son régime ther-

mique sera influencé par le régime éolien ( $- 5,2^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}$  par unité d'indice de compacité), et plus l'écart entre sa température et celle de l'air sera élevée ( $+ 33^\circ\text{C}$  par unité d'indice de compacité) et cela d'autant plus que le degré d'avancement de la maturation sera important (figure 6).

Le paramètre (b) correspond à la capacité thermique maximum des baies, écart ( $T_{gx} - T_x$ ) maximum, lorsque le vent est nul. Pour une grappe donnée, il est fortement déterminé pour une grappe par son degré de compacité. On montre ici que, comme suggéré plus haut (paragraphe II), le facteur coloration des baies n'est pas le seul facteur susceptible d'expliquer l'augmentation de l'écart thermique entre les grappes et l'air, et que l'indice de compacité intervient également. Qui plus est, sans pouvoir discriminer les parts respectives du facteur coloration et du facteur indice de compacité dans l'évolution du régime thermique des grappes, on peut, à la vue de ces derniers résultats et du fait de la dynamique d'évolution de ces deux facteurs, dire que c'est la concomitance ou la cascade des événements physico-chimiques caractérisant la véraison qui provoque les modifications de l'état thermique des grappes.

La modification de la couleur des baies dès la véraison rhéologique (VR, fig. 4) (ROBIN *et al.*, 1995), se traduit, du fait de l'augmentation de l'absorption du rayonnement solaire, par un assombrissement général, ce qui a pour conséquence l'élévation de la température des baies et des grappes. Cette modification de la couleur concerne de façon assez homogène l'ensemble des grappes et ce serait donc elle qui initierait la différenciation thermique par rapport à l'air. Cependant, le phénomène de coloration ne semble pas devoir expliquer totalement les différences importantes de température observées entre les grappes vérees. Il doit être pris en compte que c'est au moment de la véraison que la compacité des grappes augmente fortement du fait du grossissement des baies et de la « fermeture » consécutive des grappes. A cette période, l'air circulera de moins en moins facilement entre les baies et les échanges thermiques diminueront de ce fait. Cet effet lié à la compacité qui se superpose à celui induit par le changement de coloration, apparaît par ailleurs hétérogène et variable d'une grappe à l'autre. Cette observation explique les différences notables observées dans le comportement thermique des différentes grappes examinées.

## CONCLUSION

Les résultats présentés dans cet article confirment et précisent le rôle et la part des principaux facteurs physiques ou physico-chimiques expliquant les effets

thermiques que l'on a pu mesurer au niveau des baies et des grappes de Syrah en cours de maturation, effets qui ont été préliminairement rapportés (IGOUNET *et al.*, 1995).

Une modification importante du régime thermique des grappes est observée au cours de la maturation de ce cépage noir. Deux facteurs principaux sont à l'origine de cette modification: l'albédo des baies qui diminue du fait de leur coloration caractérisant la phase de véraison et l'augmentation de la compacité des grappes liée à l'accroissement du volume des baies durant cette même période, ces deux facteurs étant la conséquence directe de manifestations physiologiques, biochimiques ou moléculaires associées au phénomène de fructification du végétal. Les résultats présentés démontrent par ailleurs l'importance de la vitesse du vent en tant que facteur pouvant moduler fortement le régime thermique des grappes au cours de leur maturation.

Si certaines des relations de cause à effet dont il a été question dans ce rapport apparaissent comme connues pour la vigne, ou déjà démontrées pour d'autres végétaux, les résultats rapportés ici démontrent et argumentent ces relations. Ils apportent par ailleurs des éléments nouveaux qui permettent d'obtenir d'une part, au niveau méthodologique, une bonne estimation du facteur compacité des grappes, facteur qui apparaît comme le principal responsable de la modification du régime thermique des grappes, d'autre part, une meilleure description et une possibilité de quantification des déterminants de la contrainte thermique supportée par le raisin au cours de sa maturation.

En ce qui concerne le premier aspect, la méthode photographique d'estimation de l'indice de compacité des grappes qui a été utilisée pour cette étude, s'avère assez sensible pour rendre compte de l'impact d'un tel facteur; les indices calculés par cette méthode, même s'ils sont approximatifs, présentent une amplitude de variation satisfaisante. Cela rend entre autre possible la comparaison des évolutions des différentes grappes expérimentées.

En ce qui concerne le second point, l'analyse de la relation entre la contrainte thermique et le régime éolien montre qu'il est possible de définir deux paramètres thermiques quantifiables qui conditionnent finalement le régime thermique des grappes:

- le paramètre a qui caractérise la sensibilité thermique de la grappe au vent, sensibilité qui est reliée directement à l'indice de compacité de la grappe par une relation inverse,

- le paramètre b qui rend compte de la capacité thermique de la grappe, ou de sa capacité d'accumulation de chaleur, et qui, bien que positivement relié à l'indice de compacité de cette dernière, a aussi pour cause la coloration (diminution de l'albédo) de l'ensemble des baies qu'elle porte.

Si comme on vient de l'indiquer, on peut considérer que les deux facteurs principaux, degré de coloration de baies et indice de compacité des grappes, semblent être les causes premières des modifications de régime thermique des grappes, les autres facteurs de leurs microclimats radiatif et thermique (conditions thermo-éoliennes locales) ou les facteurs liés au mode de conduite ou aux propriétés du terroir, telles les propriétés optiques de la surface du sol, viennent moduler sensiblement son expression.

Il semble important de souligner le rôle particulier de la compacité ou de l'aération des grappes dans la modulation de leur régime thermique. En effet, ce facteur apparaît aussi important que les autres facteurs pédoclimatiques ou de terroir qui déterminent finalement la contrainte thermique globale supportée par le raisin au cours de sa maturation et le régime thermique général des grappes au cours de cette période. Un tel facteur devrait être en fait, le plus déterminant dans les modifications du régime thermique des raisins blancs, car il n'y a pas, dans ce cas, de modification importante de l'albédo des baies.

L'étude qui est présentée contribue par ailleurs à mieux préciser la séquence ou la chronologie des différents événements majeurs du phénomène de maturation du raisin. On démontre entre autre, le quasi-synchronisme entre le démarrage de la coloration des baies (démarrage non visible par l'oeil mais détectable par le chromamètre) et la différenciation thermique ou début de l'accumulation de chaleur par les grappes. On peut rappeler à ce propos que l'on a montré par ailleurs (ROBIN *et al.*, 1995) qu'il y avait aussi synchronisme entre ce même démarrage de la coloration et le début du ramollissement des baies. Ces événements détectés par des mesures physiques sont en fait le reflet des modifications importantes du métabolisme énergétique du raisin qui caractérisent le phénomène de maturation, en particulier l'induction d'un métabolisme de type fermentaire sur souche (SAUVAGE *et al.*, 1991; ROMIEU *et al.*, 1992).

Au niveau pratique, cette étude montre l'intérêt qu'il y a à tenir compte du régime éolien local, régime qui est notamment fonction de l'orientation des rangs de la parcelle par rapport à la direction moyenne des vents locaux. La densité de plantation, les obstacles de bordure et bien sûr le mode de conduite sont aussi, à ce titre, des éléments susceptibles, par action directe sur

le régime éolien local, de moduler l'intensité du régime thermique global des grappes. Si l'on se base sur l'idée communément soutenue en viticulture, que toute intervention raisonnée susceptible de faire apparaître une contrainte modérée sur la vigne peut être considérée comme un gage potentiel de qualité pour le vin, on peut finalement admettre que toute condition susceptible de limiter l'effet dissipateur de calories, ou effet refroidissant du vent au niveau des grappes, et par voie de conséquence de favoriser la contrainte thermique accumulée par les grappes au cours de leur maturation, devrait être bénéfique pour la qualité des moûts et des vins qui en résulteront.

**Remerciements :** Une partie des travaux présentés dans ce rapport a été réalisée grâce aux soutiens financiers de la Région Languedoc Roussillon et de l'ONIVINS.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CREAZY G.L. et LOMBARD P.B., 1993. Vine water stress and peduncle girdling effect on pre- and post-veraison ; grape berry growth and deformability. *Amer. J. Enol. Vitic.*, **44**, 250-258.
- IGOUNET O., BALDY C., ROBIN J.P., BOULET J.C., SANON M. et SUARD B., 1995. Effets de revêtements artificiels du sol sur la température à l'intérieure des grappes de raisin au cours de la maturation. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **29**, n°3, 131- 142.
- KLIEWER W. M., 1968. Effect of temperature on the composition of grape grown under field and controlled conditions. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, **93**, 797-806.
- KLIEWER W. M. et LIDER L. A., 1968. Influence of cluster exposure to the sun on the composition of Thompson seedless fruit. *Amer. J. Enol. Vitic.*, **19**, 175-184.
- KLIEWER W.M., 1971. Effect of day temperature and light intensity on concentration of malic acid and tartaric acids in *Vitis vinifera* L. grapes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **96**, n°3, 372-377.
- KLIEWER W.M., 1973. Berry composition of *Vitis vinifera* cultivars as influenced by photo- and nycto- temperature during maturation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **98**, n°2, 153-159.
- LAKSO A.N. et KLIEWER W.M., 1975. Temperature and malic acid grape enzymes. *Plant Physiol.*, **56**, 370-372.
- PEYNAUD E. et RIBEREAU-GAYON P., 1971. The grape. In *Biochemistry of fruits and their products* A.C. HULME (Ed), Acad. Press, New-York, 171-205.
- RADLER F., 1965. The effect of temperature on the ripening of Sultana grapes. *Am. J. Enol. Vitic.*, **16**, 38-41.
- ROBIN J.P., ABBAL P. et FLANZY C., 1995. La fermeté des baies de raisin : définition d'un indice de fermeté, corrélation avec les modifications de couleur et application à la détection précoce de la véraison. *V<sup>e</sup> Symp. Intern. d'Œnologie*, 15-17 Juin 1995, Bordeaux.
- ROMIEU C., CHAMBROY Y., SAUVAGE F.X., SARRIS J., PRADAL M., NICOL M.Z. et ROBIN J.P., 1992. Maturation et métabolisme anaérobie du raisin. *4<sup>e</sup> Symp. International sur la Physiologie de la Vigne*, OIV. Saint Michel d'Adige et Turin, 10-15 mai 1992.
- 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., O. IGOUNET, 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. *V<sup>e</sup> Symp. International d'Œnologie*, 15-17 Juin 1995, Bordeaux.
- 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. Field temperatures of grape berries and implication for fruit composition. *Symp. Intern. sur la qualité de la vendange*. Le Cap, Afrique du Sud, 227-231.
- TAUREILLES-SAUREL C., ROMIEU C.G., ROBIN J.P. et FLANZY C., 1995. Grape (*Vitis vinifera* L.) malate dehydrogenase. II. Characterisation of the major mitochondrial and cytosolic isoforms and their role in ripening. *Amer. J. Enol. Vitic.*, **46**, n°1, 29-36.
- VAUTIER P., SIMON J.L., GNAGI F., KOBLET W., ZANIER C. 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.

Manuscrit reçu le 26 juillet 1995 ;  
accepté pour publication le 19 décembre 1995

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