

RÉFLEXION DU SOL ET COLORATION DU RAISIN. L'EXCITATION DE LA VIGNE PAR LA LUMIÈRE ROUGE SERAIT DÉTERMINANTE POUR LA QUALITÉ DES BAIES

SOIL REFLECTANCE AND COLOURING OF GRAPE. VINE RED LIGHT EXCITATION COULD BE DECISIVE FOR GRAPE BERRY QUALITY

J.-P. ROBIN^{*,1}, F.-X. SAUVAGE^{*}, M. PRADAL^{*} et M. CHOVELON^{**}

^{*}Unité de Recherche sur les Produits de la Vigne, ENSAM-INRA,
2 place Viala, 34060 Montpellier, France.

^{**}Domaine expérimental La Tapy, 84200 Serres-Carpentras, France.

Résumé : Des modalités de « solarisation » de la vigne en conditions réelles de culture par des revêtements réfléchissants la lumière solaire et partiellement colorés en bleu, en vert ou en rouge, ont été mises en œuvre. Les expérimentations ont été menées à la fois sur des raisins de table et sur des raisins de cuve. L'évolution en cours de maturation de la couleur des baies a été suivie par chromamétrie *in situ*, en utilisant les systèmes conventionnels Lab et LCH. En conformité avec les analyses biochimiques et les dégustations des raisins à la vendange, l'analyse statistique des résultats chromamétriques démontre que la couleur rouge, présentant un maximum de réflectance vers 680 nm, apparaît comme la plus efficace pour améliorer la qualité des raisins. Suite à cette étude, on peut conclure que les propriétés de réflectance de l'environnement de la vigne, notamment celles propres au sol de la parcelle, doivent être considérées comme des facteurs importants de variabilité compositionnelle du raisin et que celles-ci sont à prendre en compte dans les explications de l'effet terroir.

Abstract : Various conditions of vine « solarisation » with sun light reflecting clothes partially colored in blue, green or red, were performed in field conditions during 1998 and 1999 years. The experiments were conducted both on table grapes (Muscat de Hambourg, Italia and Danuta) and on wine grapes varieties (Carignane, Mourvèdre, Shiraz, Muscat à petits grains). The « solarisation » clothes were set up at the cluster closure stage and removed at the harvest time. Effect of various experimental conditions on changes *in situ* berry colour was examined. The chromatic parameters using the Lab and LCH conventional systems were weekly measured on representative berry samples, and levels of significance of the obtained differences were determined by a variance analysis. Differences in the colouring dynamics and in the values of the chromatic parameters at harvest were statistically significant, in particular in function of the importance of the reflecting area set up per vinestock and also in function of the color of the reflecting cloth used. The results were compared to those obtained from various other analyses : reflectance spectra and composition of berries at harvest, tastings of the table grapes. As a main result, the red colour with a maximum of reflectance at 680 nm appeared as the more effective in improving quality of the berries. These results demonstrate the importance of the reflectance properties of the neighbours of the vine, in particular those of the soil of the parcel, on the composition and the quality of the grape. Moreover, they underline that these properties should be taken in account to explain some misunderstood terroir effects. Finally, they strongly suggest that the excitation of vine photoreceptor systems, specially with the clear red light, could be decisive in the signaling and regulatory mechanisms leading to an optimal ripeness of the grape.

Mots clés : raisin, qualité, « solarisation », réflectance du sol, lumière, terroir

Key-words : grape, quality, « solarisation », soil reflectance, light, terroir

INTRODUCTION

Bien des vigneronnes ont une conscience intuitive de l'importance de la réflexion de la lumière sur les performances viticoles. Pour une parcelle donnée, il est admis que les effets de bordure, d'ombrage ou ceux

plus lointains, liés par exemple à la présence d'un lac ou d'une rivière dans le cas où cette parcelle est en situation de coteau, peuvent être expliqués par une déficience ou un apport supplémentaire de lumière ; en revanche, les effets liés aux propriétés optiques ou spectrales (réflectance) de la surface du sol de cette parcelle

TABLEAU I
Désignation des différentes modalités de solarisation

Table I - Designation of the different modalities of solarisation

TE : témoin Est
TO : témoin Ouest
SEVE : solarisé Vitexsol standard vert, 0,5 m, Est (1)
SEVO : solarisé Vitexsol standard vert, 0,5 m, Ouest (1)
SERE : solarisé Vitexsol standard rouge, 0,5 m, Est (2)
SERO : solarisé Vitexsol standard rouge, 0,5 m, Ouest (2)
SLRE : solarisé Vitexsol standard rouge, 1m, Est (3)
SLRO : solarisé Vitexsol standard rouge, 1m, Ouest (3)
SERR50E : solarisé Vitexsol peint à 50 p. cent rouge, 0,5 m, Est (4)
SERR50O : solarisé Vitexsol peint à 50 p. cent rouge, 0,5 m, Ouest (4)
SERB50E : solarisé Vitexsol peint à 50 p. cent bleu, 0,5 m, Est (5)
SERB50O : solarisé Vitexsol peint à 50 p. cent bleu, 0,5 m, Ouest (5)
SLRR50E : solarisé Vitexsol peint à 50 p. cent rouge, 1m, Est (6)
SLRR50O : solarisé Vitexsol peint à 50 p. cent rouge, 1m, Ouest (6)
SLRB50E : solarisé Vitexsol peint à 50 p. cent bleu, 1m, Est (7)
SLRB50O : solarisé Vitexsol peint à 50 p. cent bleu, 1m, Ouest (7)
SLRR100E : solarisé Vitexsol peint à 100 p. cent rouge, 1m, Est (8)
SLRR100O : solarisé Vitexsol peint à 100 p. cent rouge, 1m, Ouest (8)
SLRB100E : solarisé Vitexsol peint à 100 p. cent bleu, 1m, Est (9)
SLRB100O : solarisé Vitexsol peint à 100 p. cent bleu, 1m, Ouest (9)

Entre parenthèses : le numéro correspondant aux 9 variantes colorées du Vitexsol. Dans les sigles (hors témoins), la deuxième lettre est relative à la largeur installée : E pour « Etroit » (base Vitexsol standard en 0,5 m de large), L pour « Large » (base Vitexsol standard en 1 m de large), la troisième est relative à la couleur des fils supports : R pour rouge, V pour vert, la quatrième, pour les variantes 4 à 9, est relative à la couleur de la peinture rouge (R) ou bleue (B) déposée à 50 ou 100 p. cent sur le revêtement standard à fils rouges, la dernière E ou O est relative à l'exposition des grappes.

ne sont généralement pas considérés comme importants pour influencer la composition des raisins à la vendange et la qualité du vin qui en résulte. De très nombreuses études ont démontré l'importance viticole des modifications du microclimat lumineux par interventions directes sur le végétal (SMART *et al.*, 1988 ; SMART, 1990 ; MORRISON et NOBLE, 1990 ; JACKSON et LOMBARD 1993 ; DOKOOZLIAN et KLIEWER, 1996). L'importance de l'éclairage a d'ailleurs conduit certains chercheurs à modéliser l'interception du rayonnement entourant la souche en fonction du mode de conduite et de la structure de la canopée (SCHULTZ, 1995 ; MABROUK *et al.*, 1997a, 1997b ; MABROUK et SINOQUET, 1998). Cependant, aucune étude à ce jour n'a réellement considéré l'impact que pouvait présenter une manipulation du microclimat lumineux par modification artificielle des propriétés de réflectance de l'environnement de la souche, notamment de celles de la surface du sol de la parcelle. Un nombre réduit d'auteurs ont cependant considéré de telles propriétés à travers les effets thermiques qu'elles pouvaient provoquer. On peut rappeler, à ce propos, le travail de VERBRUGGHE *et al.* (1991) concernant les répercussions de différents types de sols sur la température de surface des feuilles et des

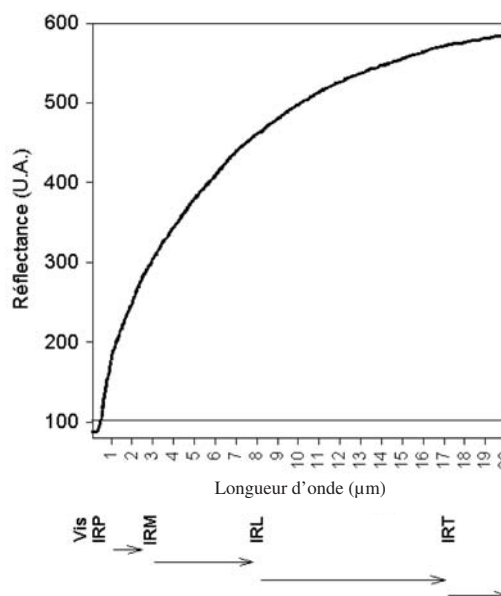


Fig. 1 - Spectre de réflectance lissé du film d'aluminium constituant la base réfléchissante du revêtement Vitexsol, depuis l'UV jusqu'à l'IR thermique.

Fig. 1 - Smoothed reflectance spectrum of the aluminium film used as the reflective basis of the Vitexsol cover, from UV to thermic IR radiations.

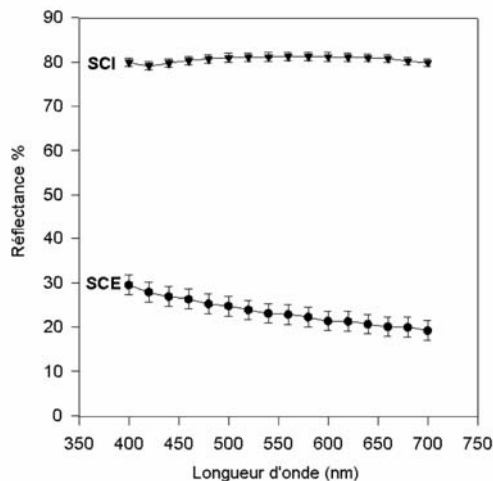


Fig. 2 - Spectres de réflectance et paramètres chromatiques dans le domaine visible du film d'aluminium de base du Vitexsol.

Comparaison des mesures en « composante spéculaire incluse » (SCI) et en « composante spéculaire exclue » (SCE). Moyennes et écart-types sur 10 mesures.

Fig. 2 – Reflectance spectra and chromatic parameters in the visible domain of the aluminium film of the Vitexsol cover.

Comparison between the measures in « specular component included » (SCI) and in « specular component excluded » (SCE). Means and standard deviations from 10 measures.

		L	a	b	C	H
SCI	moy.	92,25	-0,32	0,76	0,83	112,68
	et	0,44	0,04	0,07	0,09	58,97
SCE	moy.	55,32	-1,05	-5,82	5,91	-100,24
	et	0,44	0,04	0,07	0,09	58,97

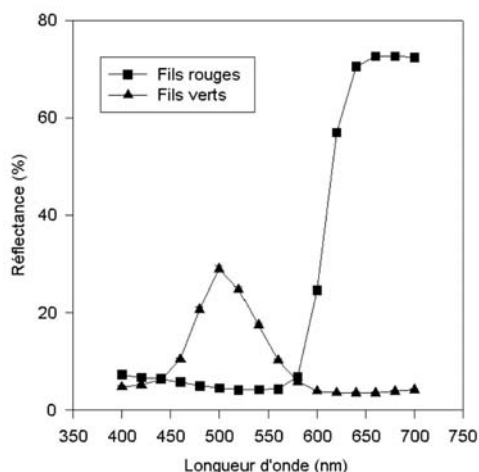


Fig. 3 - Spectres de réflectance et paramètres chromatiques des fils verts ou rouges constituant le support de trame du Vitexsol.

Moyennes et écart-types sur 10 mesures en SCI.

Fig. 3 - Reflectance spectra and chromatic parameters of the green or red threads constituting the weft basis of the Vitexsol cover.

Means and standard deviations from 10 measures in SCI.

		L	a	b	C	H
Rouge	moy.	41,90	53,66	21,82	57,93	22,13
	et	0,54	0,25	0,46	0,40	0,33
Vert	moy.	43,76	-47,99	8,30	48,70	170,19
	et	0,56	0,42	0,08	0,43	0,05

grappes. On peut aussi rappeler de façon anecdotique les travaux de RAVAZ (1908) qui avait examiné les répercussions thermiques que pouvaient présenter des sols peints de différentes couleurs.

Des travaux réalisés par notre équipe ont montré l'intérêt de la technique culturale de la vigne dite par « solarisation » artificielle à l'aide de matériaux réfléchissant la lumière solaire (ROBIN *et al.*, 1996a ; SAUVAGE *et al.*, 1998, 1999). L'étude qui est rapportée dans cet article concerne des expérimentations effectuées en 1998 et 1999 visant à déterminer les effets de la « solarisation » sur divers cépages de table et de cuve, par des revêtements de sol réfléchissants différemment colorés. Nous avons choisi de caractériser ces effets par des mesures de chromamétrie *in situ*, suivies d'une analyse statistique exhaustive des données. Les résultats de cette analyse sont confrontés à ceux issus de diverses caractérisations physico-chimiques et de dégustations réalisées en parallèle sur les raisins au moment de la récolte.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

I - MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les différentes modalités de « solarisation » ont été appliquées à sept variétés de raisin :

- trois de table conduits en lyre, le Muscat de Hambourg et l'Italia (Sica La Tapy, Carpentras, France), le Danuta (domaine INRA du Chapitre, Villeneuve lès Maguelone, France),

- quatre de cuve, le Carignan conduit en gobelets (domaine INRA de Pech-Rouge, Gruissan, France), le Mourvèdre conduit en espalier (même domaine), le Muscat à petits grains conduit en espalier (parcelle de la cave des vigneron de Baumes de Venise), et la Syrah conduite en lyre (système ECOTRON de culture de la vigne en pots, avec alimentations hydrique et minérale contrôlées, campus ENSAM-INRA, Montpellier, France). L'orientation des rangs était voisine du Nord-Sud pour toutes les variétés.

Pour chacune des modalités de « solarisation » envisagées, des blocs de 20 à 30 souches de ces différents cépages sont préalablement définis au hasard sur chacune des parcelles (sauf pour la Syrah où l'on ne dispose que de 10 souches).

II - MATÉRIEL DE « SOLARISATION »

Un tissu résistant, léger, souple et perméable, le Vitexsol, (MDB Texinov SA, Saint-Didier de la Tour, France), disponible sous forme de rouleaux de 50 m sur 0,5 ou 1 m de large, a été utilisé pour l'ensemble des essais. Les différentes modalités ont consisté à faire

varier d'une part, la surface installée par souche (1 m² pour la largeur 0,5 m et 2 m² pour la largeur 1 m) d'autre part, la dominante colorée associée à la « réflexion métallique blanche » (lumière PAR) des fibres de film d'aluminium constituant la base réfléchissante du Vitexsol (figures 1 et 2). Les différentes variantes colorées du tissu différent bien sûr par les propriétés de réflectance liées à la couleur mais aussi par leur taux de recouvrement (pourcentage de la surface occupée par la partie colorée par rapport à la surface totale du tissu). Ces variantes sont les suivantes :

- deux colorations à 7 p. cent de recouvrement, l'une verte (réflectance maximum à 500 nm, figure 3), l'autre rouge (réflectance maximum à 680 nm, figure 3) : celles-ci correspondent à la couleur et à la surface occupée par les fils assurant la cohésion et la solidité des fibres du matériau standard ;

- deux colorations à 50 p. cent de recouvrement, l'une bleue (réflectance maximum à 450 nm, figure 4), l'autre rouge (réflectance maximum vers 680 nm, figure 4) : ces variantes colorées sont obtenues à l'aide de peintures spéciales (INNOVA, Béziers, France) déposées dans le sens transversal du tissu sous forme de bandes de 2 cm de large espacées de 2 cm ;

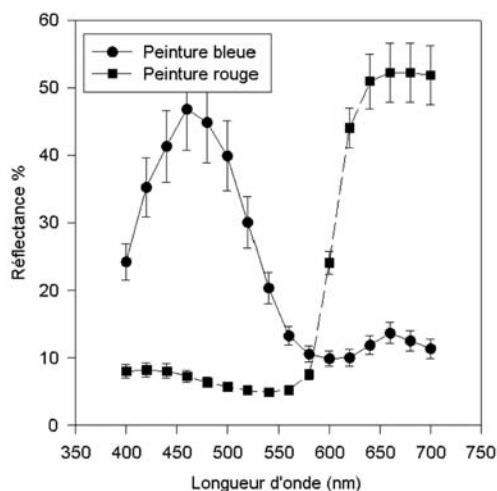


Fig. 4 - Spectres de réflectance et paramètres chromatiques des peintures rouge et bleue déposées sur le Vitexsol.

Moyennes et écart-types sur 10 mesures en SCI.

Fig. 4 - Reflectance spectra and chromatic parameters of the red or blue paintings spread on the Vitexsol cover.

Means and standard deviations from 10 measures in SCI.

	L	a	b	C	H
Rouge moy.	40,61	44,16	13,64	46,26	17,10
et	1,19	2,19	2,52	2,50	2,77
Bleue moy.	52,88	-14,60	-31,28	34,53	-114,96
et	2,46	1,96	3,11	3,57	1,48

- les deux colorations précédentes à 100 p. cent de recouvrement.

Les valeurs chromatiques et le spectre de réflectance des Vitexsol standards en « vert » et en « rouge » sont donnés en figure 5. On peut comparer sur cette figure les spectres des revêtements avec celui du sol de l'une des parcelles considérées : la réflectance du sol varie entre 5 et 20 p. cent, alors que celle des revêtements est assez constante, variant entre 55 et 65 p. cent, avec un peu plus de réflectance dans le vert pour le Vitexsol « vert » et un peu plus de réflectance dans le rouge pour le Vitexsol « rouge ». Ces mesures de réflectance dans la partie visible du rayonnement solaire, sont réalisées à l'aide d'un spectromètre Minolta CM 508 d sous l'illuminant standard D 65 de la CIE pour un observateur à 10°, et étalonné sur une plaque de référence en céramique blanche.

III - MISE EN PLACE DES MODALITÉS DE « SOLARISATION »

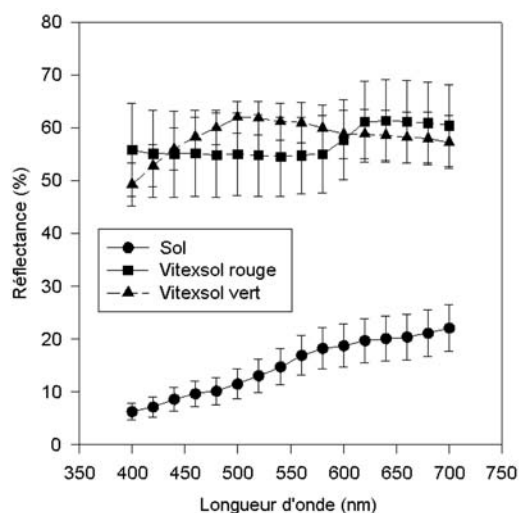


Fig. 5 - Spectres de réflectance et paramètres chromatiques du Vitexsol standard « vert » et « rouge » comparés au spectre de réflectance du sol d'une des parcelles de Carignan.

Moyennes et écart-types sur 10 mesures pour le Vitexsol, moyennes et écart-types sur 30 mesures pour le sol. Mesures en SCI.

Fig. 5 - Reflectance spectra of the « green » and « red » Vitexsol compared to the reflectance spectrum of the soil of one of the Carignane parcel.

Means and standard deviations from 10 measures for the Vitexsol. Means and standard deviations from 30 measures for the soil. Measures in SCI.

	L	a	b	C	H
V « vert » moy.	82,05	-3,28	3,17	4,78	137,72
et	2,07	1,10	1,61	1,28	18,24
V « rouge » moy.	82,50	2,45	1,26	3,03	24,01
et	3,72	1,13	1,43	1,29	30,69
Sol moy.	47,74	4,71	17,88	18,50	75,26
et	5,71	0,55	1,42	1,47	1,19

1) Dates et durée d'installation des tissus

Quelle que soit la variété, les tissus de « solarisation » sont majoritairement installés entre la nouaison et la fermeture de la grappe (entre mi-juin et début juillet dans le midi de la France, période désignée par N dans les tableaux). Quelques essais effectués en 1998 ont cependant été réalisés plus précocement, au débournement (D) et à la floraison (F). Quels que soient le cépage ou la modalité, les tissus sont judicieusement disposés au sol de part et d'autre du rang de vigne de façon à bénéficier d'une durée maximum d'éclaircissement pendant la journée. Ils sont démontés au moment de la récolte.

2) Nomenclature des essais

Les effets de « solarisation » étant liés à l'orientation (SAUVAGE *et al.*, 1998) on distinguera les côtés Est (E) et Ouest (O) des rangs (on considérera donc la surface installée par demi-souche : 0,5 m² pour la largeur 0,5 m ou 1 m² pour la largeur 1 m). Au total, il sera question dans la présentation d'une vingtaine de modalités différentes (témoins compris) qui sont définies par leur sigle dans le tableau I. Le tableau II précise la répartition des essais en fonction du millésime et de la variété considérés.

IV - MESURES DES CARACTÉRISTIQUES CHROMATIQUES ET SPECTRALES DES BAIES

Les paramètres chromatiques des baies en cours de maturation ont été déterminés dans les systèmes colorimétriques standardisés Lab et LCH. Pour chaque bloc expérimental, 50 à 100 baies appartenant à 20 à 30 grappes préalablement repérées sont mesurées *in situ* de façon hebdomadaire, à l'aide d'un chromamètre

TABLEAU II
Répartition des essais
en fonction du millésime et de la variété
Table II - Répartition
of the essays versus vintage and variety

Cépage	Modalités mises en œuvre	
	en 1998	en 1999 installation à période N
Muscat de Hambourg	1D, 1N	(1, 2, 3, 6, 7) ^b
Muscat à petits grains	1D, 1N	
Italia	1D, 1N	(1, 2, 3) ^b
Danuta		2, 3, 6, 7
Carignan ^a	1D, 1F, 1N, 2D, 2F, 2N	1 à 9
Syrah		1, 2
Mourvèdre	1	2

^a parcelles différentes en 1998 et 1999

^b analyses statistiques non effectuées

Minolta CR 200 réglé sur l'illuminant standard C de la CIE et étalonné sur une plaque de référence en céramique blanche.

Au moment de la récolte, les spectres de réflectance de certains échantillons de baies représentatifs sont déterminés à l'aide du spectrocolorimètre Minolta CM 508 d utilisé pour la caractérisation des revêtements de « solarisation ».

V - ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES CHROMAMÉTRIQUES

Si, dans le cas des raisins noirs, les paramètres chromatiques évoluent globalement selon des courbes déjà présentées (ROBIN *et al.*, 1996b), le seul examen de celles-ci ne permet pas de conclure sur la pertinence des différences observées et donc sur les effets liés aux multiples conditions expérimentales, d'autant plus que l'on a affaire à des populations fortement hétérogènes, notamment au moment précis de la véraison. Par ailleurs, les différences pour un même paramètre chromatique tendent généralement à s'estomper au voisinage de la récolte. Ce sont ces raisons qui ont justifié la mise en œuvre d'une analyse de variance à mesures partiellement répétées (méthode Split plot) selon ZAR (1996), complétée par une étude des contrastes. Cette analyse a été réalisée pour chaque modalité sur l'ensemble des séries de mesures, depuis le stade « fermeture de la grappe » jusqu'à la récolte (10 à 12 dates selon les cépages). L'analyse de contraste permet de tester la signification statistique des différences observées entre les différents essais : on considérera ces écarts comme significatifs lorsque p sera inférieur ou égal à 5 p. cent (dans les tableaux on indiquera * pour p ≤ 0,05, ** pour p ≤ 0,01 et *** pour p ≤ 0,0001).

L'examen des valeurs statistiques brutes (non présentées) permet de définir l'efficacité, en terme de coloration, d'une modalité par rapport à une autre. On considérera que cette efficacité est d'autant plus grande que L, b, C et H sont plus petits et que a est plus grand, qu'il s'agisse d'un cépage noir ou d'un cépage blanc.

VI - ANALYSES BIOCHIMIQUES ET DÉGUSTATION DES BAIES À LA RÉCOLTE

Afin de pouvoir corroborer les résultats de l'analyse statistique avec la composition des baies à la vendange, une analyse des paramètres œnologiques classiques ainsi qu'une dégustation des baies dans le cas des raisins de table ont été effectuées. Cette dégustation a été réalisée, par un jury tout-venant constitué de 38 personnes, sur les lots représentatifs (baies détachées de la grappe) des différentes modalités. Sept descripteurs simples (homogénéité de couleur, homogénéité de taille, aspect visuel global, sucrosité,

acidité, intensité aromatique et qualité gustative globale) ont été notés sur une échelle de 0 à 5 ; le traitement statistique classique des réponses a été réalisé par le système ULISI®.

Pour confirmer les différences de coloration, lorsque celles-ci ont été reconnues comme significatives, soit à partir de l'analyse statistique, soit à partir de la dégustation, les spectres de réflectance des échantillons de baies correspondants sont réalisés.

RÉSULTATS

I – LES PARAMÈTRES CHROMATIQUES : EXEMPLES DE RELATIONS ET D'ÉVOLUTIONS EN COURS DE MATURATION

La comparaison des évolutions dans le cercle chromatique (a , b) de la couleur moyenne des baies d'un raisin noir, le Carignan, et d'un raisin blanc, le Danuta, au cours de leur maturation est montrée sur la figure 6. Dans le cas du raisin noir, on retrouve une allure de courbe voisine de celle déjà présentée pour le cépage Syrah (ROBIN *et al.*, 1996b), avec un phénomène de « rétrogradation » de la couleur (notamment moins de rouge pour a , moins de bleu pour b) en fin d'évolution. Dans le cas du raisin blanc, l'évolution au départ parallèle à celle du raisin noir, s'arrête dans le vert-jaune ou le jaune plus ou moins doré. On retrouve, comme pour la Syrah, une relation quasi-linéaire entre la clarté (L) et la saturation (C) qu'il s'agisse du cépage blanc Italia

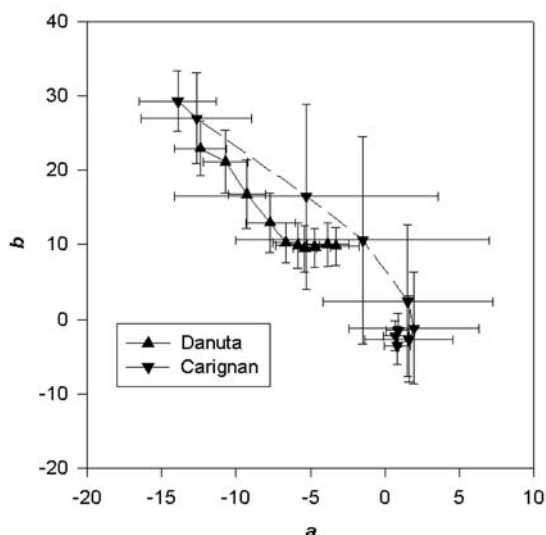


Fig. 6 - Evolutions comparées dans le plan chromatique de a et b , pour un raisin noir (Carignan 1998) et pour un raisin blanc (Danuta), au cours de leur maturation.

Fig. 6 - Compared evolutions of a and b in the chromatic plan, for a black grape (Carignane 1998) and for a white grape (Danuta), during their ripening.

ou du cépage rouge Muscat de Hambourg (figure 7), les évolutions étant dans les deux cas pratiquement parallèles.

Les évolutions des paramètres saturation et angle de teinte (ou teinte H) au cours de la maturation du cépage Carignan sont illustrées dans le cas de deux modalités de « solarisation », respectivement par les figures 8 et 9. Compte tenu des faibles différences sur les valeurs moyennes et de l'importance des écarts-types correspondants, on voit bien toute la difficulté qu'il y a pour juger de la réalité des différences entre deux modalités.

II - ANALYSE STATISTIQUE DES DYNAMIQUES DE COLORATION

- **Effets liés à l'orientation des grappes.** Les résultats présentés dans les tableaux III et IV montrent que ces effets peuvent être observés de façon souvent très significative, indépendamment du cépage, du millésime ou de la modalité de « solarisation » mise en œuvre. On peut remarquer que ces effets concernent aussi les modalités témoins. Le sens de ces effets est variable en fonction du millésime, du cépage et du paramètre considéré. Dans le cas du Carignan en 1998, c'est surtout l'orientation Ouest qui apparaît la plus favorable, par contre, dans le cas des raisins blancs, les effets bénéfiques apparaissent largement distribués sur les deux orientations.

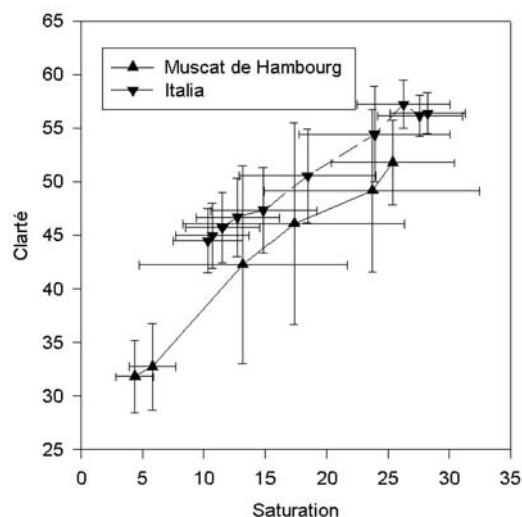


Fig. 7 - Comparaison des relations entre clarté (L) et saturation (C) pour un raisin noir (Muscat de Hambourg 1998) et pour un raisin blanc (Italia 1998) au cours de leur maturation.

Fig. 7 - Comparison of the relations between luminance (L) and saturation (C) for a black grape (Muscat de Hambourg 1998) and for a white grape (Italia 1998), during their ripening.

TABLEAU III
Influence de l'exposition des grappes sur les paramètres chromatiques
pour les expérimentations effectuées en 1998
Table III - Influence of the exposition of bunches upon the chromatic parameters
for the essays effected in 1998

	Modalités		L	a	b	C	H
	1	- 2					
Muscat de Hambourg	TE - TO		*1	*1	ns	**1	ns
	SEVE D-SEVO D		ns	ns	**1	***1	ns
	SEVE N-SEVO N		ns	ns	ns	ns	ns
Muscat à petits grains	TE - TO		*1	ns	*1	ns	**2
	SEVE D-SEVO D		ns	**2	**1	*1	***2
	SEVE N-SEVO N		ns	*2	***1	**1	***2
Italia	TE - TO		ns	***2	ns	ns	***2
	SEVE D-SEVO D		ns	ns	**1	**1	*2
	SEVE N-SEVO N		***1	ns	*1	*1	ns
Carignan	TE - TO		ns	ns	**2	*2	ns
	SEVE D-SEVO D		ns	*2	**2	ns	**2
	SERE N-SERO N		ns	ns	ns	ns	ns
	SEVE F-SEVO F		ns	*2	ns	ns	ns
	SERE F-SERO F		ns	**2	***2	*2	**2
	SEVE N-SEVO N		*1	ns	ns	ns	ns
Mourvèdre	SERE N-SERO N		ns	*2	***2	***2	***2
	TE - TO		***2	ns	***1	ns	***1
	SEVE -SEVO		***2	ns	***1	ns	***1

ns = non significatif à $p \leq 0,05$. Pour chaque paramètre, le chiffre 1 ou 2 situé après mention du niveau de signification de la différence, correspond à la modalité la plus efficace en termes de chromaticité sur l'ensemble de la dynamique de maturation ; a plus grand, L, b, C et H plus faibles.

TABLEAU IV
Influence de l'exposition des grappes sur les paramètres chromatiques
pour les expérimentations effectuées en 1999
Table IV - Influence of the exposition of bunches
upon the chromatic parameters for the essays effected in 1999

	Modalités		L	a	b	C	H
	1	- 2					
Danuta	TE-TO		***2	**2	***2	***2	***1
	SERE-SERO		***2	*2	**2	***2	*1
	SLRE-SLRO		ns	ns	***2	***2	***1
	SLRB50E-SLRB50O		*1	ns	**2	**2	***1
	SLRR50E-SLRR50O		ns	***2	ns	ns	***1
Carignan	TE-TO		ns	ns	ns	ns	ns
	SEVE-SEVO		ns	*2	*2	ns	ns
	SERE-SERO		*1	ns	ns	*1	ns
	SLRE-SLRO		ns	ns	ns	ns	ns
	SERR50E-SERR50O		ns	ns	ns	ns	ns
	SERB50E-SERB50O		ns	ns	ns	ns	ns
	SLRR50E-SLRR50O		**1	ns	ns	**1	ns
	SLRB50E-SLRB50O		ns	*1	ns	ns	ns
	SLRR100E-SLRR100O		ns	*2	ns	ns	ns
	TE-TO		*1	ns	ns	ns	ns
Syrah	SEVE-SEVO		***2	***2	***2	***2	*2
	SERE-SERO		ns	ns	*2	ns	ns
	TE-TO		***2	*2	***2	***2	***2
Mourvèdre	SERE-SERO		ns	ns	***2	*2	***2

1, 2 : cf. note en bas du tableau III

- **Effets liés à la « solarisation » par rapport aux modalités témoins.** Dans le cas des essais effectués en 1998 avec le revêtement « Vitexsol vert », les résultats montrent que lorsqu'il y a un effet significatif, celui-ci est généralement en faveur de la modalité solarisée (tableau V). Des différences très significatives sont notamment observables lorsque l'on considère le paramètre *a* : la couleur des baies contient plus de rouge, l'angle de teinte H étant sensiblement plus petit. Dans le cas des essais de 1999, les résultats apparaissent plus dispersés (tableau VI) et des effets négatifs de la « solarisation » sur la dynamique de coloration sont observables notamment pour les modalités utilisant le « Vitexsol vert » installé du côté Est (Carignan, Syrah) ou pour les modalités où le Vitexsol est coloré à 50 p. cent (Carignan) ; la modalité SERE favorise très souvent la coloration des baies.

- **Effets liés à la couleur.** Les essais de « solarisation » réalisés avec les revêtements colorés en vert

ou en rouge (tableau VII) indiquent que la couleur rouge (« Vitexsol rouge ») est significativement préférable à la couleur verte (« Vitexsol vert »). Cette observation est particulièrement évidente pour le Carignan en 1999 si l'on compare les modalités SEVE et SERE d'une part, et SEVO et SERO d'autre part. Il est important de souligner que la différence de réponse observée ici ne résulte que d'une différence de couleur, toute autre condition de « solarisation » étant identique par ailleurs. Si l'on se réfère aux propriétés de réflectance des revêtements utilisés (figure 5) et au fait que la couleur surimposée, verte ou rouge, ne représente que 7 p. cent de la surface totale du revêtement, on entrevoit déjà à ce niveau, toute l'importance que peut représenter des différences dans les propriétés de réflectance du sol des parcelles. Dans le cas des modalités où la coloration de base du Vitexsol est renforcée en rouge à un taux de 50 p. cent (au total 53 p. cent) ou dans le cas du Vitexsol peint en bleu au même taux (50 p. cent bleu, on négligera les 3,5 p. cent de rouge), on constate

TABLEAU V

Influence de la solarisation sur les paramètres chromatiques pour les expérimentations effectuées en 1998

Table V - Influence of the solarisation upon the chromatic parameters for the essays effected in 1998

	Modalités 1 - 2	L	<i>a</i>	<i>b</i>	C	H
Muscat de Hambourg	TE-SEVE D	ns	ns	ns	ns	ns
	TE-SEVE N	ns	ns	ns	*1	ns
	TO-SEVO D	ns	ns	*1	*1	ns
	TO-SEVO N	ns	ns	ns	ns	ns
Muscat à petits grains	TE-SEVE D	ns	ns	ns	ns	*2
	TE-SEVE N	ns	*2	ns	ns	ns
	TO-SEVO D	ns	***2	*1	ns	***2
	TO-SEVO N	ns	***2	ns	ns	**2
Italia	TE-SEVE D	ns	***2	ns	ns	***2
	TE-SEVE N	***2	***2	ns	ns	***2
	TO-SEVO D	ns	ns	ns	ns	**2
	TO-SEVO N	ns	ns	ns	ns	**2
Carignan	TE-SEVE D	ns	ns	ns	ns	ns
	TE-SEVE F	ns	ns	ns	ns	ns
	TE-SEVE N	***2	*2	ns	ns	ns
	TE-SERE D	ns	**2	*2	**2	ns
	TE-SERE F	ns	ns	ns	ns	ns
	TE-SERE N	ns	ns	ns	ns	ns
	TO-SEVO D	ns	**2	ns	ns	ns
	TO-SEVO F	ns	*2	ns	ns	ns
	TO-SEVO N	*2	*2	ns	ns	ns
	TO-SERO D	ns	***2	ns	ns	ns
	TO-SERO F	ns	***2	ns	ns	*2
	TO-SERO N	*2	**2	ns	ns	**2
Mourvèdre	TE-SERE F	**2	*2	*2	ns	ns
	TE-SERE N	**2	***2	*2	*2	***2

1, 2 : cf. note en bas du tableau III

plutôt un effet en faveur de la coloration bleue, mais sur des cas moins fréquents et avec des niveaux de signification moins élevés.

Dans le cas du Carignan, il est possible de classer les différentes modalités sur la base des valeurs statistiques moyennes (non présentées). Les ordres hiérarchiques obtenus pour les différents paramètres chromatiques sont présentés dans les tableaux VIII (Carignan 1998) et IX (Carignan 1999). On observe globalement que de nombreuses modalités s'avèrent moins efficaces que les modalités témoins et que ce

sont les modalités SERE et SERO qui apparaissent les meilleures.

- Effets liés à l'importance de l'aire réfléchissante installée par souche. Certaines modalités de « solarisation » permettent de rendre compte de l'effet lié à l'importance de la surface réfléchissante (brillante) du Vitexsol (surface non peinte, dans le cas des modalités renforcées en rouge ou en bleu) installée par demi-souche (pour une orientation). Les résultats sont reportés dans le tableau X. Dans le cas du Carignan en 1999, ils sont particulièrement significatifs : on observe qu'une surface réfléchissante de 0,5 m² apparaît optimale vis-

TABLEAU VI

Influence de la solarisation sur les paramètres chromatiques pour les expérimentations effectuées en 1999

Table VI - Influence of the solarisation upon the chromatic parameters for the essays effected in 1999

	Modalités 1 - 2	L	a	b	C	H
Danuta	TE-SERE	ns	*2	ns	ns	**2
	TE-SLRE	ns	***2	**1	ns	***2
	TE-SLRB50E	ns	***2	*2	**2	ns
	TE-SLRR50E	ns	***2	ns	**2	***2
	TO-SERO	ns	ns	***1	**1	***2
	TO-SLRO	***1	ns	**1	*1	***2
	TO-SLRB50O	ns	*2	ns	ns	ns
	TO-SLRR50O	***1	ns	*1	ns	**2
Carignan	TE-SEVE	**1	*1	***1	***1	***1
	TE-SERE	*2	**2	ns	*2	*2
	TE-SLRE	ns	ns	*1	*1	*1
	TE-SERB50E	***1	**1	**1	***1	**1
	TE-SERR50E	***1	ns	***1	***1	***1
	TE-SLRB50E	***2	ns	ns	**2	ns
	TE-SLRR50E	ns	ns	ns	ns	ns
	TE-SLRB100E	ns	ns	ns	ns	ns
	TE-SLRR100E	ns	ns	*1	ns	ns
	TO-SEVO	ns	ns	ns	*1	ns
	TO-SERO	*2	ns	ns	ns	ns
	TO-SLRO	ns	**1	**1	***1	ns
	TO-SERB50O	ns	*1	***1	**1	**1
	TO-SERR50O	***1	ns	**1	***1	***1
	TO-SLRR50O	ns	ns	ns	ns	ns
	TO-SLRB50O	ns	ns	ns	ns	ns
	TO-SLRB100O	ns	ns	ns	ns	ns
TO-SLRR100O	ns	ns	ns	ns	ns	
Syrah	TE-SEVE	***1	ns	***1	***1	ns
	TE-SERE	ns	*2	ns	ns	***2
	TO-SEVO	***2	***2	***1	***2	***2
	TO-SERO	*2	***2	***1	**2	***2
Mourvèdre	TE-SERE	*2	ns	ns	ns	ns
	TO-SERO	***1	ns	ns	ns	ns

1, 2 : cf. note en bas du tableau III

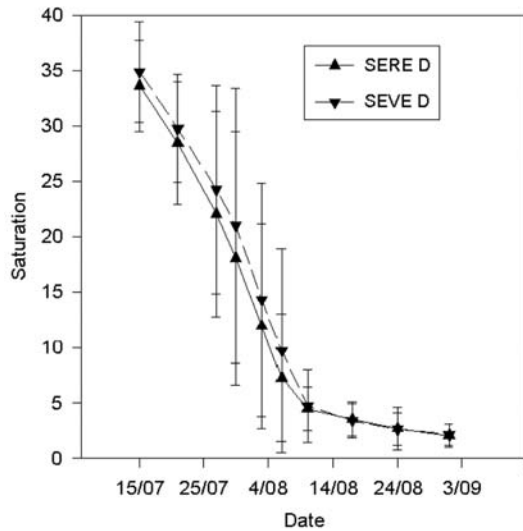


Fig. 8 - Comparaison des évolutions du paramètre saturation (C) pour deux modalités de solarisation au cours de la maturation du raisin Carignan en 1998.

Fig. 8 - Comparison of the evolutions of the saturation parameter (C) for two modalities of solarisation during the ripening of Carignane grape in 1998.

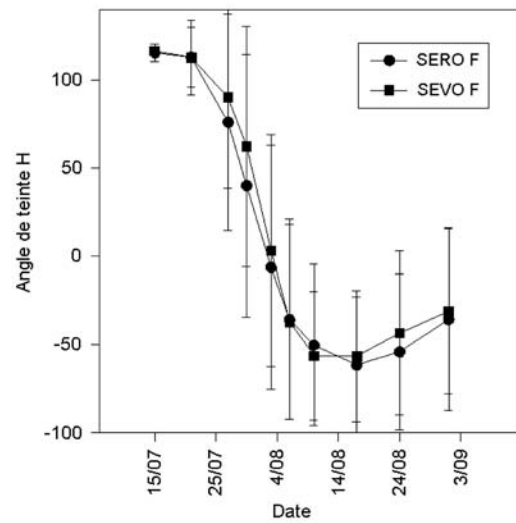


Fig. 9 - Comparaison des évolutions du paramètre angle de teinte (H) pour deux modalités de solarisation au cours de la maturation du raisin Carignan en 1998.

Fig. 9 - Comparison of the evolutions of the hue parameter (H) for two solarisation modalities during the ripening of Carignane grape in 1998.

TABLEAU VII
Influence de la couleur du Vitexsol sur les paramètres chromatiques
Table VII - Influence of the Vitexsol color upon the chromatic parameters

	Modalités		L	a	b	C	H
	1	2					
Carignan 98	SEVE D-	SERE D	ns	ns	**2	**2	ns
	SEVE F-	SERE F	ns	ns	ns	ns	ns
	SEVE N-	SERE N	*1	ns	ns	ns	ns
	SEVO D-	SERO D	ns	ns	ns	ns	ns
	SEVO F-	SERO F	ns	ns	*2	ns	ns
	SEVO N-	SERO N	ns	ns	ns	ns	ns
Carignan 99	SEVE-	SERE	***2	***2	***2	***2	***2
	SERB50E-	SERR50E	ns	ns	ns	ns	**1
	SLRB50E-	SLRR50E	**1	ns	ns	*1	ns
	SLRB100E-	SLRR100E	ns	ns	ns	ns	*1
	SEVO-	SERO	**2	*2	**2	***2	**2
	SERB50O-	SERR50O	*1	ns	ns	ns	ns
	SLRB50O-	SLRR50O	ns	ns	ns	ns	ns
	SLRB100O-	SLRR50O	ns	ns	ns	ns	ns
Danuta	SLRB50E-	SLRR50E	ns	*1	ns	ns	**1
	SLRB50O-	SLRR50O	***2	ns	ns	ns	ns
Syrah	SEVE-	SERE	***2	***2	***2	***2	***2
	SEVO-	SERO	ns	ns	ns	ns	ns

1, 2 : cf. note en bas du tableau III

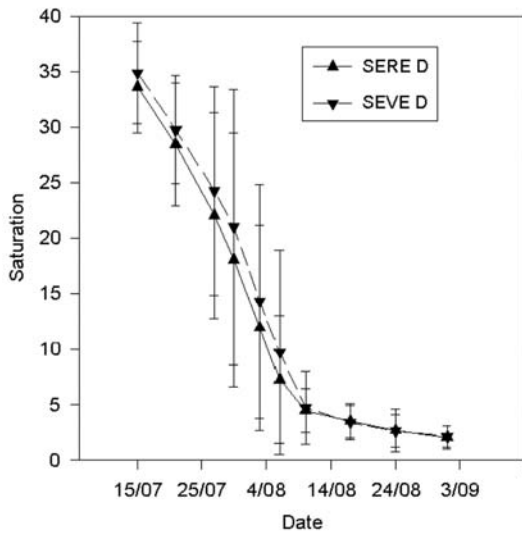


Fig. 10 - Comparaison des spectres de réflectance des baies de raisin Italia récoltées à maturité (14/09/1999) et triées par flottation pour obtenir une même concentration en sucres (27,5 Brix), pour les modalités TE, SERE, SLRO, SLRE et SEVE. Mesures en SCI.

Fig. 10 - Comparison of the reflectance spectra of the Italia berries harvested at maturity (09/14/1999) and selected by a buoyancy technique in order to obtain an identical sugar concentration (27,5 Brix), for TE, SERE, SLRO, SLRE and SEVE modalities. Measures in SCI.

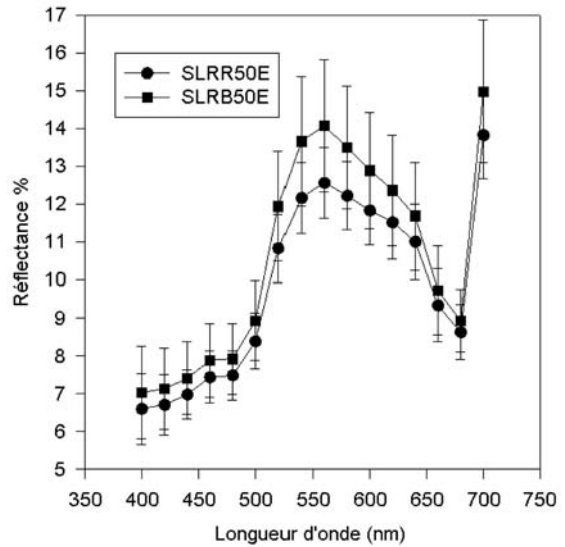


Fig. 11 - Comparaison des paramètres chromatiques et des spectres de réflectance des baies de Danuta à maturité (30/08/1999) pour les modalités SLRB50E et SLRR50E. Mesures en SCI.

Fig. 11 - Comparison of the chromatic parameters and of the reflectance spectra of Danuta berries at maturity (08/30/1999) for the modalities SLRB50E and SLRR50E. Measures in SCI.

		L	a	b	C	H
SLRB50E	moy.	41,78	-2,46	14,62	14,93	100,03
	et	2,39	1,62	2,83	2,74	6,85
SLRR50E	moy.	41,50	-0,61	13,29	13,36	92,88
	et	3,25	1,20	4,63	4,63	5,33

TABLEAU VIII
Carignan 1998 - Classement hiérarchique de l'efficacité de la modalité
selon la valeur statistique des paramètres chromatiques

Table VIII - Carignane 1998 - Hierarchical classification of the the modality efficiency determined from the statistical value of the chromatic parameters

L	a	b	C	H
SEVE N	SERO D	SERO F	SERO N	SERO N
SERE N	SERO F	SERO N	SERO F	SERO F
SERO N	SERO N	SERO D	SERO D	SERO D
SEVO N	SEVO D	SEVO N	SERE D	SEVO N
SERE D	SERE D	<u>TO</u>	SEVO N	SEVO D
SERO D	SEVO N	SERE D	<u>TO</u>	SEVO F
<u>TE</u>	SEVO F	SEVO D	SEVO F	<u>TO</u>
SERE F	SEVE N	SEVO F	SEVO D	SERE D
SEVE F	SEVE D	SEVE N	SEVE N	SEVE N
SEVE D	SERE F	SERE F	SERE F	SEVE F
SEVO D	SERE N	SEVE F	SEVE F	SERE F
SERO F	<u>TO</u>	<u>TE</u>	<u>TE</u>	<u>TE</u>
<u>TO</u>	SEVE F	SEVE D	SERE N	SEVE D
SEVO F	<u>TE</u>	SERE N	SEVE D	SERE N

L'efficacité chromatique décroît (a diminue, L, b, C et H augmentent) en allant vers le bas du tableau.

TABLEAU IX
Carignan 1999 - Classement hiérarchique de l'efficacité de la modalité
selon la valeur statistique des paramètres chromatiques

Table IX - Carignane 1999 - Hierarchical classification of the modality efficiency
determined from the statistical value of the chromatic parameters

L		a		b		C		H	
SLRB50E	0,5	SERE	0,5	SERE	0,5	SLRB50E	0,5	SERE	0,5
SERE	0,5	SERO	0,5	SERO	0,5	SERE	0,5	SLRB100E	0
SERO	0,5	SLRB50E	0,5	SLRR50E	0,5	SERO	0,5	SERO	0,5
SLRR50E	0,5	SLRR50E	0,5	TO		SLRB100O	0	SLRR50O	0,5
SLRB50O	0,5	SLRB100O	0	TE		SLRR50E	0,5	SLRR50E	0,5
SLRB100O	0	TO		SLRB100O	0	SLRB100E	0	SLRB100O	0
TE		SLRR50O	0,5	SLRB100E	0	TO		TE	
SLRB100E	0	SLRR100O	0	SLRR50O	0,5	SLRR50O	0,5	SLRB50O	0,5
SLRE	1	SLRB50O	0,5	SLRR100O	0	SLRR100O	0	TO	
SLRR50O	0,5	TE		SLRB50O	0,5	TE		SLRR100O	0
TO		SEVO	0,5	SLRB50E	0,5	SLRB50O	0,5	SLRB50E	0,5
SLRR100O	0	SERR50O	0,25	SEVO	0,5	SLRR100E	0	SLRR100E	0
SLRR100E	0	SERB50O	0,25	SLRR100E	0	SEVO	0,5	SLRO	1
SEVO	0,5	SLRE	1	SLRE	1	SLRE	1	SLRE	1
SERB50O	0,25	SLRB100E	0	SERR50O	0,25	SERB50O	0,25	SEVO	0,5
SLRO	1	SERR50E	0,25	SERB50E	0,25	SERR50O	0,25	SERB50E	0,25
SEVE	0,5	SLRO	1	SLRO	1	SEVE	0,5	SERB50E	0,25
SERB50E	0,25	SLRR100E	0	SERB50O	0,25	SERB50E	0,25	SEVE	0,5
SERR50O	0,25	SEVE	0,5	SERR50E	0,25	SLRO	1	SERR50O	0,25
SERR50E	0,25	SERB50E	0,25	SEVE	0,5	SERR50E	0,25	SERR50E	0,25

Le chiffre qui suit le sigle correspond à la surface réfléchissante de Vitexsol non peint, en m² par demi-souche (soit pour E, soit pour O) ; cette aire ne tient pas compte de la surface occupée par les fils. L'efficacité est décroissante en allant vers le bas (cf. tableau VIII).

TABLEAU X

Influence de l'aire réfléchissante de Vitexsol installée par demi-souche sur les paramètres chromatiques

Table X - Influence of the reflective area of Vitexsol installed per half-vine upon the chromatic parameters

	Modalités		L	a	b	C	H
	1	2					
Danuta	0,5 m ²	1 m ²					
	SERE-SLRE		ns	ns	ns	ns	ns
	SERO-SLRO		**1	ns	ns	ns	*1
Carignan 99	0,25 m ²	0,5 m ²					
	SERR50E-SLRR50E		***2	**2	***2	***2	***2
	SERR50O-SLRR50O		***2	ns	**2	**2	***2
	SERB50E-SLRB50E		***2	***2	*2	***2	ns
	SERB50O-SLRB50O		**2	ns	**2	**2	***2
	0,5 m ²	1 m ²					
	SERE-SLRE		*1	***1	***1	***1	**1
SERO-SLRO		***1	***1	***1	***1	*1	

1, 2 : cf. note en bas du tableau III.

On a négligé dans les valeurs d'aire indiquées, la partie correspondante au taux de recouvrement des fils du Vitexsol standard.

TABLEAU XI

Influence du taux de recouvrement en rouge ou en bleu du Vitexsol sur les paramètres chromatiques

Table XI - Influence of the red or blue covering ratio of Vitexsol upon the chromatic parameters

	Modalités		L	a	b	C	H
	1	2					
Carignan 99	7 %	53 %					
	SERE-SERR50E		***1	***1	***1	***1	***1
	SLRE-SLRR50E		ns	*2	**2	**2	*2
	SERO-SERR50O		***1	**1	***1	***1	***1
	SLRO-SLRR50O		ns	*2	**2	***2	ns
	SERE-SLRR50E		ns	ns	ns	ns	ns
	SERO-SLRR50O		*1	ns	ns	ns	ns
	7 %	100 %					
	SLRE-SLRR100E		ns	ns	ns	ns	ns
	SLRO-SLRR100O		ns	*2	**2	***2	ns
	53 %	100 %					
	SLRR50E-SLRR100E		*1	***1	*1	ns	ns
	SLRR50O-SLRR100O		ns	ns	ns	ns	ns
	50 %	100 %					
SLRB50E-SLRB100E		***1	**1	ns	*1	*1	
SLRB50O-SLRB100O		ns	ns	ns	ns	ns	
Danuta	7 %	53 %					
	SLRE-SLRR50E		ns	***2	***2	***2	ns
	SLRO-SLRR50O		ns	ns	ns	ns	ns

1, 2 : cf. note en bas du tableau III

TABLEAU XII

Influence de la date d'installation du Vitexsol sur les paramètres chromatiques

Table XII - Influence of the installation date of the Vitexsol upon the chromatic parameters

	Modalités		L	a	b	C	H
	1	2					
Muscat de Hambourg	SEVE D-SEVE N		ns	ns	ns	ns	ns
	SEVO D-SEVO N		ns	ns	ns	ns	ns
Muscat à petits grains	SEVE D-SEVE N		ns	ns	ns	ns	ns
	SEVO D-SEVO N		ns	ns	ns	ns	ns
Italia	SEVE D-SEVE N		*2	ns	ns	ns	ns
	SEVO D-SEVO N		ns	ns	ns	ns	ns
Carignan 98	SEVE D-SEVE F		ns	ns	ns	ns	ns
	SEVE D-SEVE N		***2	ns	ns	ns	ns
	SEVE F-SEVE N		***2	ns	ns	ns	ns
	SEVO D-SEVO F		ns	ns	ns	ns	ns
	SEVO D-SEVO N		ns	ns	ns	ns	ns
	SEVO F-SEVO N		**2	ns	ns	ns	ns
	SERE D-SERE F		ns	*1	ns	ns	ns
	SERE D-SERE N		ns	*1	**1	**1	ns
	SERE F-SERE N		ns	ns	ns	ns	ns
	SERO D-SERO F		ns	ns	ns	ns	ns
	SERO D-SERO N		ns	ns	ns	ns	ns
	SERO F-SERO N		*2	ns	ns	ns	ns

1, 2 : cf. note en bas du tableau III

à-vis des effets chromatiques, quelle que soit l'orientation considérée. Il est important de remarquer que si un effet de proportionnalité semble exister entre 0,25 et 0,5 m², une surface supérieure à 0,5 m² ne présenterait pas d'intérêt, si l'on se réfère à la classification hiérarchique indiquée dans le tableau IX.

- Effets liés au taux de recouvrement de la couleur. Les résultats présentés dans le tableau XI montrent que lorsque les différences sont significatives, celles-ci sont plus dues à une différence dans l'importance de la surface réfléchissante par demi-souche qu'à une différence de taux de recouvrement par la couleur rouge ou bleue (ce taux est indiqué, pour le Carignan 1999, dans le tableau IX pour chacune des modalités). On retrouve ici les conclusions mentionnées au paragraphe précédent : une surface réfléchissante de 0,5 m² par demi-souche apparaît optimale. La comparaison entre les modalités SERE et SLRR50E (ou SERO et SLRR50O) permet plus précisément de se rendre compte de l'effet du taux de recouvrement en rouge puisque l'on compare les modalités à une même valeur de surface réfléchissante (0,5 m²) : sur la base des essais Carignan 1999, la modalité à 7 p. cent (SERE ou SERO) serait préférable à la modalité 53 p. cent (SLRR50E ou SLRR50O).

- Effets liés à la date de l'installation. La date d'installation ne semble pas généralement entraîner de grosses différences dans les effets des diverses modalités. Les résultats obtenus ne permettent pas de conclure en faveur de l'une ou de l'autre date d'installation du Vitexsol (tableau XII).

III – SPECTRES DE RÉFLECTANCE DES RAISINS A LA RÉCOLTE

Les résultats de l'analyse statistique précédente ne permettent pas toujours de déterminer l'influence des modifications de l'environnement lumineux sur les caractéristiques du raisin, notamment à la récolte. Les figures 10 et 11 montrent que les spectres de réflectance des baies à ce stade peuvent mieux discriminer les effets des conditions environnementales que la simple analyse chromamétrique. Ainsi, sur la figure 10 relative au cépage Italia, on peut observer entre autre l'effet d'une surface réfléchissante de 1 m² (SLRE) par rapport à une surface de 0,5 m² (SERE). Cet effet qui se traduit principalement sur la bande de réflectance dans le rouge clair (vers 660 nm) est particulièrement net pour la modalité SLRE et un peu moindre pour la modalité SLRO. De la même façon, sur la figure 11 relative au cépage Danuta on observe l'impact important de la couleur rouge (SLRR50E) par rapport à la couleur bleue (SLRB50E). La sollicitation de la vigne par une dominante de couleur rouge (modalité SLRR50E) diminue significativement plus la bande

de réflectance dans le vert-jaune (550 nm) que la bande dans le rouge clair (vers 650 nm). On verra, suite aux résultats de dégustations, que ces impacts peuvent être considérés comme positifs au niveau de la qualité des baies. Dans le cas des raisins noirs, les résultats indiquent aussi que les conditions de « solarisation » se traduisent par des modifications significatives, quoique moins spectaculaires, des spectres de réflectance.

On peut résumer de façon très synthétique et imagée ces résultats en disant que les modifications de réflectance du sol se traduisent par des modifications de réflectance des baies.

IV- RELATION ENTRE LA COULEUR DES BAIES ET LEUR CONCENTRATION EN SUCRES

Si l'on met en relation l'angle de teinte H des baies à la récolte avec leur densité, on observe des courbes d'allure globalement linéaire et décroissante (figure 12). L'angle de teinte décroît au fur et à mesure que la concentration en sucres augmente dans les baies. Lorsque l'environnement lumineux contient du rouge (modalité SLRR50E), la courbe correspondante reste parallèle à la courbe témoin, mais elle est décalée vers des angles de teinte plus petits. Le déplacement observé apparaît donc être fonction de la couleur réfléchie dominante et il semble être particulièrement important en présence de lumière rouge. Il est à noter que dans le cas des modalités où interviennent les couleurs verte ou bleue, les courbes afférentes à ces couleurs sont très

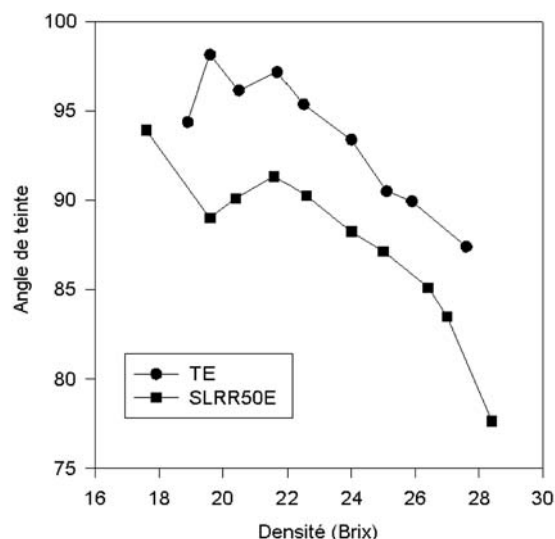


Fig. 12 - Relations entre la couleur et la concentration en sucres des baies d'Italia 1999 à la récolte. Les lots à même concentration en sucres sont obtenus à partir d'un tri par méthode de flottation.

Fig. 12 - Relations between color and sugar concentration of Italia berries at harvest in 1999. Samples at the same sugar concentration are obtained by a buoyancy technique.

voisines de la courbe témoin (résultats non présentés) et que la relation existe quelle que soit la nature blanche ou noire du cépage.

V - ANALYSES BIOCHIMIQUES DES RAISINS À LA RÉCOLTE

D'une façon générale, les différences observées entre les caractéristiques analytiques classiques des raisins à la récolte sont en accord avec les tendances déjà indiquées à propos des effets de la « solarisation » (ROBIN *et al.*, 1996a, SAUVAGE *et al.*, 1998, 1999). Dans le cas des expérimentations rapportées dans cet article, on peut illustrer ces effets par les tableaux XIII et XIV respectivement relatifs aux cépages Danuta et Italia.

Dans le cas du cépage Danuta et pour l'orientation Est, on observe un faible effet sur la concentration en sucres, en faveur d'une surface réfléchissante de 1 m² par demi-souche (SLRE) plutôt qu'en faveur d'une surface de 0,5 m² (SERE), la concentration étant toutefois plus faible que pour la modalité témoin (tableau XIII) ; rappelons qu'en terme de dynamique de coloration les effets afférents à l'importance de la surface réfléchissante dans ces deux modalités ne se différencient pas (tableau VIII). Il y aurait par contre un effet important de la couleur (SLRB50E - SLRR50E) : la modalité avec la couleur rouge appa-

raît bien plus efficace pour augmenter la concentration en sucres que la modalité avec la couleur bleue, pour une même surface réfléchissante installée (0,5 m²/demi-souche), l'effet de la coloration bleue apparaît même négatif puisque la concentration en sucres obtenue est inférieure à celle correspondant à la modalité témoin. Rappelons qu'en terme de coloration les effets liés à la couleur ne sont pas très affirmés (tableau VII).

Dans le cas du cépage Italia en 1999, on observe une différence importante de concentration en sucres quand on compare les effets des couleurs verte et rouge, quelle que soit l'orientation considérée (comparaison SEVE-SERE ou SEVO-SERO). Une dominante rouge (à 7 p. cent de recouvrement) dans la réflexion globale du Vitexsol est préférable à une dominante verte (au même taux de recouvrement) pour augmenter la concentration en sucres des raisins à la récolte (tableau XIV). Ce résultat est tout à fait en accord avec les résultats de l'analyse statistique effectuée sur les dynamiques de coloration des mêmes modalités pour les cépages Carignan et Syrah (tableau VII). En ce qui concerne l'influence de la surface réfléchissante installée par demi-souche (SERE ou SERO : 0,5 m² ; SLRE ou SLRO : 1 m²) sur la concentration en sucres, il y aurait un effet d'amplification : la concentration en sucres à la récolte serait d'autant plus grande que la surface installée est plus importante. Il est à noter que

TABLEAU XIII

Danuta - Caractéristiques physicochimiques des raisins côté Est de la lyre, à la récolte (30/08)

Table XIII - Danuta - Physicochemical characteristics of the grape from the East side of the lyre, at harvest (30/08)

	TE	SERE	SLRE	SLRB50E	SLRR50E
Poids moyen d'une baie (g)	3,39	3,24	3,32	3,25	3,77
IR ¹	18,0	17,4	17,7	17,4	18,6
Sucres réducteurs ² (g/l)	169,3	162,6	165,9	162,6	176,0
pH	3,75	3,90	3,62	3,56	3,61
AT (g acide tartrique/l)	5,61	5,35	5,31	5,39	5,15
IM (sucres/AT)	30	30	31	30	34

1 : indice réfractométrique des moûts exprimés en degré Brix ; 2 : conversion des Brix en sucres à partir des tables officielles

TABLEAU XIV

Italia 1999 - Caractéristiques physicochimiques des raisins côtés Est et Ouest de la lyre, à la récolte (14/09)

Table XIV - Italia 1999 - Physicochemical characteristics of the grape from the East and West sides of the lyre, at harvest (14/09)

	TE	SEVE	SERE	SLRE	TO	SEVO	SERO	SLRO
Poids moyen d'une baie (g)	5,87	5,61	5,06	5,32	6,20	5,33	5,11	5,27
IR ¹	19,8	19,1	20,0	20,8	18,7	19,5	20,0	21,1
Sucres réducteurs (g/l) ²	189,7	181,7	191,9	201,1	177,2	186,3	191,9	204,5
pH	3,69	3,59	3,58	3,61	3,66	3,55	3,54	3,66
AT (g acid tartrique/l)	4,11	4,12	4,12	3,96	4,20	4,26	4,17	3,78
IM (sucres/AT)	46	44	47	51	42	44	46	54

1, 2 : cf tableau III

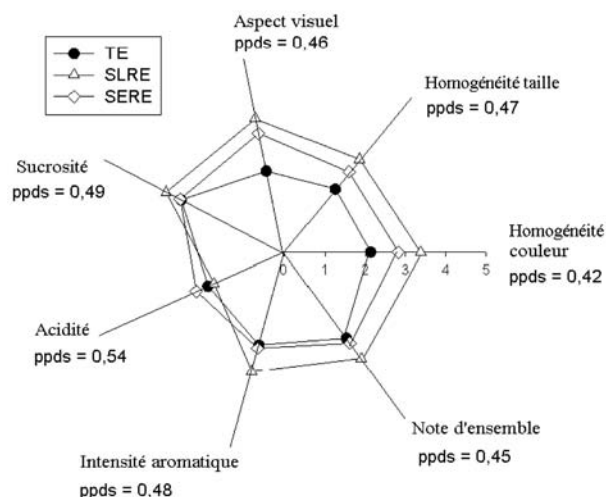


Fig. 13 - Dégustation du raisin Italia 1999 à la récolte, côté Est. Comparaison entre les modalités TE, SERE et SLRE. ppds : plus petite différence significative au seuil de 5 %.

Fig. 13 - Tasting analysis of Italia grape at the harvest in 1999, East side. Comparison between TE, SERE et SLRE modalities. ppds : smaller significant difference at 5 % level.

ce résultat est contraire à celui issu de l'analyse statistique des dynamiques de coloration : on avait noté que la modalité SERE ou SERO était plus efficace que la modalité SLRE ou SLRO (tableau VIII).

VI - DÉGUSTATION DES RAISINS

Les propriétés de réflectance associées aux différentes modalités de « solarisation » se traduisent par des différences très significatives au niveau des caractéristiques sensorielles, notamment des raisins de table.

Dans le cas des baies du raisin Italia orientées à l'Est (figure 13), on observe un effet très net de la surface réfléchissante installée, notamment pour les critères d'homogénéités de couleur et de taille, de sucrosité et pour les notes d'ensemble. À un même taux de recouvrement par la couleur rouge (7p. cent), une surface installée de 1 m² (SLRE) par demi-souche apparaît meilleure qu'une surface de 0,5 m² (SERE). Ces résultats sont tout à fait en harmonie avec les résultats des analyses biochimiques (tableau XIV) : on retrouve bien l'effet de proportionnalité entre la surface installée et la concentration en sucres. A noter que l'on retrouve aussi l'impact négatif d'une plus grande surface réfléchissante sur l'acidité totale.

Dans le cas du raisin Muscat de Hambourg côté Est (figure 14) où une modalité colorée en bleue a été ajoutée, il est possible de distinguer d'une part, l'influence de la couleur rouge ou bleue du revêtement, d'autre

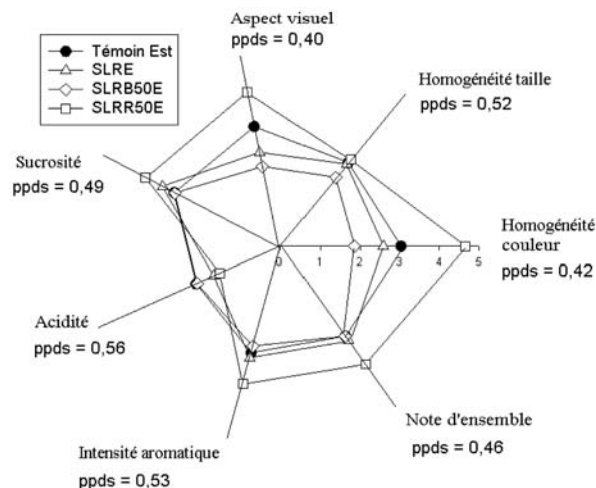


Fig. 14 - Dégustation du raisin Muscat de Hambourg 1999 à la récolte, côté Est. Comparaison entre les modalités TE, SLRE, SLRR50E et SLRB50E. ppds : plus petite différence significative au seuil de 5 %.

Fig. 14 - Tasting analysis of Muscat de Hambourg grape at the harvest in 1999, East side. Comparison between TE, SLRE, SLRR50E and SLRB50E modalities. ppds : smaller significant difference at the 5 % level.

part, l'influence du taux de recouvrement de la couleur rouge. Lorsque l'on compare la modalité SLRB50E avec la modalité SLRR50E, on constate que le rouge est bien plus efficace que le bleu pour améliorer la qualité. Ce résultat s'accorde bien avec celui issu des analyses biochimiques relatives aux modalités de « solarisation » du cépage Danuta où interviennent les couleurs bleue et rouge (tableau XIII). Alors que la différenciation entre le rouge et le bleu n'apparaissait pas clairement suite à l'analyse statistique, elle apparaît très nettement par dégustation des raisins. En ce qui concerne l'effet du taux de recouvrement de la couleur rouge, on observe que la modalité SLRR50E (53 p. cent) est nettement plus efficace que la modalité SLRE (7 p. cent), bien que la surface réfléchissante afférente à cette dernière modalité soit plus grande (1m² contre 0,5 m²). Si l'analyse statistique montre la prépondérance de la grandeur de la surface reflétant la lumière solaire blanche, la dégustation des raisins souligne au contraire la prépondérance du niveau de recouvrement bien qu'il ne s'agisse pas des mêmes cépages. Ces résultats sont tout à fait conformes à ceux que l'on peut tirer des analyses biochimiques, notamment pour la concentration en sucres (résultats non présentés).

Des résultats de dégustation de raisins Italia issus de modalités faisant intervenir l'orientation semblent indiquer par ailleurs que l'orientation Ouest serait préférable à l'orientation Est (figure 15).

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les conclusions et les hypothèses qui vont être présentées reposent sur le fait que les effets des différentes modalités de « solarisation » proviennent essentiellement de modifications liées à l'environnement lumineux de la vigne. Si l'on ne peut totalement exclure des effets liés à des différences de température de feuilles et/ou de grappes (IGOUNET *et al.*, 1995) ou encore aux conditions thermo-hydriques dans le sol, certaines des modalités expérimentales comme les modalités 1 et 2 (tableau I) appliquées en 1999 sur la Syrah et le Carignan permettent d'écarter toute possibilité d'interprétation liées à de tels effets ou du moins permettent de considérer que ceux-ci ne prennent pas sur les effets strictement lumineux.

L'ensemble des résultats converge pour conclure que les propriétés de réflectance du sol, que l'on a modifiées artificiellement à l'aide des revêtements réfléchissants, sont importantes vis-à-vis des réponses de la vigne et des conséquences au niveau de la maturation des baies. Les expérimentations de « solarisation » réalisées avec des revêtements différemment colorés indiquent souvent de façon très significative qu'il y a modification de la coloration et de la composition des baies à la récolte, ces modifications allant généralement dans le sens d'une meilleure qualité des raisins. Si globalement, on retrouve les effets positifs permettant de préconiser l'usage de la technique de « solarisation » en viticulture, des réponses physiologiques très précises apparaissent. Il semblerait en effet qu'une excitation permanente, mais limitée à quelques semaines, de la vigne par une lumière complétement en rouge (réflectance maximum vers 670 nm) soit nécessaire pour obtenir au moment de la vendange un raisin de bonne qualité, notamment en termes de teneur en sucres et de couleur. Par contre, des réflectances dans le bleu et dans le vert n'apparaissent pas qualitativement favorables, les dominantes colorées correspondantes amenant même à des résultats moins intéressants que ceux obtenus dans les conditions du témoin (réflectance du sol naturel). Si la composition spectrale de la lumière apparaît importante, la quantité totale de lumière blanche réfléchi sur la souche apparaît décisive pour la concentration en sucres dans les baies. Une relation de proportionnalité semblerait en effet exister entre l'importance de la surface réfléchissante installée et la concentration en sucres. Ce résultat qui explique l'avance de maturité technologique que l'on reconnaît aux raisins « solarisés » provient d'une activité photosynthétique accrue du fait de l'augmentation de la surface foliaire exposée. Une relation très nette et d'allure linéaire entre la couleur (caractérisée par la teinte H) et la concentration en sucres des baies a également pu être dégagée. Il semblerait que

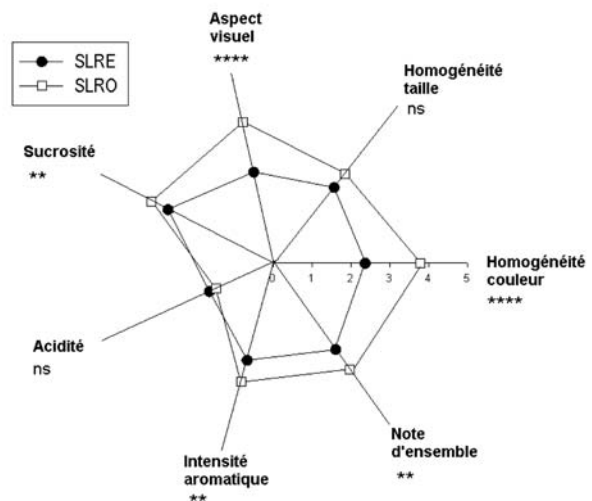


Fig. 15 - Dégustation de l'Italia 1999 à la récolte. Comparaison des raisins SLRE et SLRO.

p : probabilité d'avoir des différences non significatives aux seuils indiqués paragraphe V (p. 5)

Fig. 15 - Tasting analysis of Italia grape at the harvest in 1999. Comparison between SLRE and SLRO grapes.

p : probability to have no significant difference at levels mentioned in V (p. 5)

les paramètres de cette relation soient principalement sous la dépendance de l'intensité de la réflexion rouge renvoyée vers la souche. Ce résultat qui reste à confirmer suggère que les métabolismes permettant, d'une part l'accumulation des sucres, d'autre part la synthèse des métabolites secondaires responsables de l'arôme et de la coloration (caroténoïdes et polyphénols), seraient déconnectés et non totalement concomitants, les seconds étant sensiblement plus affectés par la qualité de la lumière plutôt que par la quantité totale d'énergie reçue.

Les conclusions et les hypothèses qui viennent d'être exprimées sont issues d'essais de « solarisation » dans lesquels la réflectance du sol a été artificiellement et fortement modifiée. Si l'on tente de transposer ces résultats et conclusions aux conditions culturales habituelles, il est logique d'admettre que la réflectance du sol de la vigne et par extension la réflectance de tout son environnement, ne peuvent pas être sans effet sur le développement du raisin et sur sa qualité à maturité. La sensibilité dont fait preuve la vigne vis-à-vis de variations subtiles et faibles de la couleur dominante de son environnement lumineux garantit en quelque sorte cette affirmation. De telles propriétés sont à notre avis à considérer comme de nouveaux descripteurs du terroir. Dans ce contexte, l'efficacité qualitative liée à la présence d'une radiation rouge dans l'environnement de la vigne peut contribuer à expliquer certains effets terroir encore mal compris, tels que l'aptitude viticole particulière que l'on attribue généralement aux sols dits rouges (CHAMPAGNOL, 1984).

La sensibilité de la vigne à la lumière rouge amène à penser que les mécanismes physiologiques et moléculaires impliqués doivent se faire *via* les phytochromes, famille de photorécepteurs sensibles à la lumière rouge et largement impliquée dans le fonctionnement des communautés de plantes (BALLARE, 1999). Il est connu que la lumière rouge, ou plus exactement le rapport R/FR (réflectance dans le rouge clair vers 670 nm / réflectance dans le rouge sombre vers 730 nm), influence directement de nombreux mécanismes physiologiques ou moléculaires : on peut citer pour exemple, l'activation de la nitrate réductase (SMART *et al.*, 1988), l'activation de la phénylalanine ammonia-lyase (BEGGS *et al.*, 1987 ; ZUCKER *et al.*, 1972), la germination des semences (WAREING et PHILLIPS, 1978) ou encore la régulation hormonale (BLACK et VLITOS, 1972). Ainsi, en accord avec la conclusion formulée par SMART *et al.* (1988), il semblerait y avoir une régulation phytochromique de la maturation du raisin. Si cette hypothèse était confirmée par la suite, on aurait là un exemple de mécanisme photomorphogénétique touchant une plante de grand intérêt agronomique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BALLARE C.L., 1999. Keeping up with the neighbours : phytochrome sensing and other signalling mechanisms. *Trends in Plant Sci.*, **4**, 97-102.
- BEGGS C.J., KUHN K., BOCKER R. et WELLMANN E., 1987. Phytochrome-induced flavonoid biosynthesis in mustard (*Sinapis alba* L.) cotyledons. Enzymatic control and differential regulation of anthocyanin and quercetin formation. *Planta*, **172**, 121-126.
- BLACK M. et VLITOS A.J., 1972. Possible interactions of phytochrome and plant hormones. In : *Phytochrome., Proceed. Eretria Symp.*, Greece, September 1971, Mitrakos K. and Shropshire W.Jr. Eds., Acad. Press London and NY, 518-541 p.
- CHAMPAGNOL F., 1984. Techniques culturales et qualité de la vendange. I. Les facteurs de la qualité de la vendange. Dans : *Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*, ed. F. Champagnol, 314-316 p.
- DOKOOZLIAN N.K. et KLEWER W.M., 1996. Influence of light on berry growth and composition varies during fruit development. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **121**, 869-874.
- 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'intérieur des grappes de raisin au cours de la maturation. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **29**, 131-142.
- JACKSON D.I. et LOMBARD P.B., 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality – A review. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **121**, 869-874.
- MABROUK H., SINOQUET H. et CARBONNEAU A., 1997a. Canopy structure and radiation regime in grapevine. I. Spatial and angular distribution of leaf area in two canopy systems. *Vitis*, **36**, 119-123.
- MABROUK H., SINOQUET H. et CARBONNEAU A., 1997b. Canopy structure and radiation regime in grapevine. II. Modeling radiation interception and distribution inside the canopy. *Vitis*, **36**, 125-132.
- MABROUK H. et SINOQUET H., 1998. Indices of light microclimate and canopy structure of grapevine determined by 3D digitising and image analysis, and their relationship to grape quality. *Aust. J. Grape Wine Res.*, **4**, 2-13.
- MORRISON J.C. et NOBLE A. C., 1990. The effect of leaf and cluster shading on the composition of Cabernet Sauvignon grapes and on fruit and wine sensory properties. *Am. J. Enol. Vitic.*, **41**, 193-200.
- RAVAZ L., 1908. Influence des opérations culturales sur la végétation et la production de la vigne. *Ann. de l'ENA, Montpellier*, **8**, 232-291.
- ROBIN J.P., SAUVAGE F.X., BOULET J.C., SUARD B. et FLANZY C., 1996a. Importance des propriétés optiques de la surface du sol sur le microclimat de la vigne. Répercussions de l'usage d'un revêtement de sol réfléchissant sur la composition des moûts et sur la qualité du vin. Dans : *Colloque Int. Terroirs Viticoles*, ed. INRA, Angers, 487-492 p.
- ROBIN J.P., LOPEZ F., ROUJOU DE BOUBEE D., IGOUNET O., SAUVAGE F.X., PRADAL M. et VERRIES C., 1996b. La coloration des baies du raisin Syrah au cours de leur maturation. Relations entre les descripteurs de la couleur, dynamique *in situ* et influence des facteurs de l'environnement. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **30**, 187-189.
- SAUVAGE F.X., ABBAL P., PRADAL M. et ROBIN J.P., 1998. La « solarisation » de la vigne en production de raisin de table. Impact qualitatif et influence de l'orientation des grappes. *Fruits*, **53**, 421-435.
- SAUVAGE F.X., BALLESTER J.F., CHOVELON M. et ROBIN J.P., 1999. La technique de « solarisation » par usage d'un revêtement de sol réfléchissant améliore la qualité des raisins de table. Dans : *11^e Journées Internationales du Groupe d'Etude des Systèmes de Conduite de la Vigne*, ed. OIV, Marsala, Sicile, 724-733 p.
- SCHULTZ H.R., 1995. Grape canopy structure, light microclimate and photosynthesis. I. A two dimensional model of the spatial distribution of surface area densities and leaf ages in two canopy systems. *Vitis*, **34**, 211-215.
- SMART R.E., SMITH S.M. et WINCHESTER R.V., 1988. Light quality and quantity effects on fruit ripening for Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.*, **39**, 250-258.

- SMART R.E., 1990. Canopy managements to improve grape yield and wine quality – principles and practices. *South Africa J. Enol. Vitic.*, **11**, 3-17.
- 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 des raisins et des feuilles (*Vitis vinifera*). *Rev. Fr. Œnol.*, **128**, 14-20.
- WAREING P.G. et PHILLIPS I.D.J., 1978. Phytochrome and photomorphogenesis. In : *The control of growth and differentiation in plants*, Ed. Pergamon Press, 183-198 p.
- ZAR J.H., 1996. Blocked and repeated measures experimental designs. In : *Biostatistical analysis*, Prentice Hall International Inc Ed., Upper Saddle River, NJ, 291-301 p.
- ZUCKER M., 1972. Light and enzymes. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **23**, 133-156.

Remerciements : les auteurs remercient leurs collègues Alain CARBONNEAU, Professeur de viticulture à l'ENSAM de Montpellier, Jean-Luc GUIRAUD, Directeur du Domaine Expérimental du Chapitre à Villeneuve-lès-Maguelone, Jean-Louis ESCUDIER, Directeur de l'Unité Expérimentale de Pech-Rouge à Gruissan ainsi que Mr Alain IGNACE, Président de la cave des vigneron de Baumes de Venise, pour avoir mis à leur disposition les systèmes de culture ou les parcelles nécessaires à leurs essais.

Reçu le 16 mai 2000
accepté pour publication le 26 juillet 2000
