

DÉTERMINATION DU DEGRÉ DE MATURITÉ DES BAIES DE RAISIN PAR DES MESURES PHYSIQUES : ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES

DETERMINATION OF THE MATURITY STATUS OF GRAPE BERRY (*VITIS VINIFERA*) FROM PHYSICAL MEASUREMENT : METHODOLOGY

Maggy GROTTÉ^{1*}, Y. CADOT², Armelle POUSSIER², Dominique LOONIS¹,
E. PIÉTRI¹, F. DUPRAT¹, G. BARBEAU²

¹INRA, UMR 408 « Qualité et sécurité des produits d'origine végétale »,
Site Agroparc, Domaine Saint-Paul, 84914 Avignon cedex 9 (France)

²INRA, Unité Vigne et Vin, 42, rue Georges Morel, B.P. 57, 49071 Beaucouzé cedex (France)

Résumé : Des tests de compression entre deux plans parallèles sont utilisés pour vérifier l'adéquation de la pression en tant que critère de caractérisation du degré de maturité des baies de raisin, et de définir la méthodologie pour ce type de mesure. Les échantillons proviennent de quatre parcelles de Cabernet franc, correspondant à deux terroirs différents sur deux ensembles géologiques (Saumurois et Anjou). Deux taux de compression (70 et 20 p. cent de la hauteur de la baie) et deux orientations (pédonculaire et équatoriale) ont été appliqués. La force et la pression mesurées pour un taux de compression de 70 p. cent sont les résultantes de plusieurs phénomènes (rupture de l'épiderme, éjection du jus, écrasement des pépins), difficiles à dissocier et à expliquer. Les compressions au niveau de l'équateur doivent être privilégiées afin de prévenir les interférences du pédoncule sur la surface de contact entre l'outil et la baie. Les résultats doivent être exprimés sous forme de pression de manière à compenser l'influence du calibre sur la force développée et de permettre les comparaisons entre baies de dimensions différentes. Le taux de compression doit être inférieur à celui correspondant à la rupture de l'épiderme. Une vitesse de déplacement de 1 mm.s⁻¹, un positionnement équatorial et un taux de compression de 20 p. cent permettent de différencier les baies en fonction de leur terroir d'origine, de leur degré de maturité et de leur hétérogénéité. La validité des résultats obtenus est vérifiée par comparaison aux valeurs issues des dosages chimiques (acide malique, anthocyanes, °Brix), effectués sur des lots comparables.

Abstract: Compression tests between parallel plates are applied to validate pressure as a grape berry maturity indicator and to define precisely the methodology of this measurement. Samples involve Cabernet franc variety of vine from four experimental plots belonging to two geological areas (Saumurois and Anjou). Two compression ratios (70 and 20 p. cent of the berry height) and two berry positions (equatorial and peduncular) are applied. Compression ratio of 70 p. cent gives maximum force and maximum pressure arising from various phenomena (skin bursting, juice ejection, pip crushing), which are difficult to separate from each other and to explain. Equatorial compression should be favoured to prevent the peduncle from interfering on the contact area between the tool and the berry, and to avoid berry resistance to the compression. Results should be expressed as pressure in order to compensate for the influence of the size on the developed force and to allow precise comparison between berries with different size. Compression ratio should be lower than that corresponding to the skin breaking. A rate of 1 mm.s⁻¹, a compression ratio of 20 p. cent and an equatorial position give pressure values allowing to differentiate berries according to their terroirs, degree of maturity and heterogeneity. Physical results are validated by comparison with chemical analysis (anthocyanins, °Brix, malic acid) from similar samples.

Mots clés : baie de raisin, *Vitis vinifera*, test de compression, degré de maturité, méthodologie

Keywords: grape berry, *Vitis vinifera*, compression test, maturity degree, methodology

INTRODUCTION

La véraison, stade repère du développement de la baie de Raisin (BAILLOD et BAGGIOLINI, 1993), correspond à la fin de la période herbacée et précède le commencement de la période de maturation (GALET, 1993). Avant son commencement, les baies sont fermes, de couleur verte, et leur dimension représente approxi-

mativement les deux tiers de celle atteinte à pleine maturité. Pendant la véraison, la coloration de la pellicule vire du vert au rouge chez les cépages rouges, et du vert au jaune-vert chez les cépages blancs. À ces modifications de la coloration sont associées une perte de fermeté, une diminution de l'acidité (acide malique notamment) ainsi qu'une augmentation du volume de la baie, une accélération de la cinétique d'accumu-

lation des sucres et une apparition de pigments anthocyaniques pour les cépages rouges (RIBÉREAU-GAYON et PEYNAUD, 1980 ; RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 1975 ; HUGLIN, 1986 ; GALET, 1993). A l'échelon de la baie, ce changement a lieu brusquement. Selon les conditions climatiques et selon le déroulement plus ou moins rapide de la floraison, la véraison des différentes baies d'une même grappe ne se produit cependant pas simultanément et peut au contraire s'échelonner sur plusieurs jours (HUGLIN, 1986). Ainsi, la véraison ne peut être fixée de façon précise à une date bien définie à l'échelle d'une parcelle. La date de début de véraison peut être estimée soit par l'observation des premières baies vérées, soit par le passage d'un seuil de véraison faible, par exemple de 10 p. cent (OJEDA *et al.*, 1999). Il est également possible d'évaluer le stade de mi-véraison, correspondant au seuil de 50 p. cent des baies vérées d'un cep. Cette méthode ne tient pas compte du début et de la fin de la véraison, difficiles à apprécier et sujets à erreur d'appréciation du fait de la possibilité d'un étalement anormalement élevé lié à une très forte hétérogénéité. La cinétique de la véraison à l'échelle d'une parcelle ayant l'aspect d'une sigmoïde, la date correspondant à ce seuil de 50 p. cent est la plus précise. Elle permet en outre de comparer avec des années de référence.

La véraison des cépages rouges peut être évaluée par dosage des pigments (anthocyanes), des sucres et acides (acidité titrable, acide malique) ou par notation visuelle. Sa détermination reste difficile à apprécier visuellement pour les cépages blancs. Son évaluation par palpation est imprécise et donc sujette à caution.

Des tests de compression ont été appliqués à l'évaluation de la résistance à l'écrasement de diverses baies (BARES *et al.*, 1994 ; BLAHOVEC, 1994 ; SATO *et al.*, 1997) ou en vue de la détection précoce de la véraison des raisins issus de cépages rouges (ABBAL *et al.*, 1992 ; ROBIN *et al.*, 1996 ; ROBIN *et al.*, 1997). Les paramètres généralement retenus sont la pente de la courbe force/déformation et la force maximale développée pour éclater la baie ou pour un taux de compression prédéfini (HARKER *et al.*, 1997). Ces tests ont permis la mise en évidence de différences de résistance à l'écrasement entre cépages et de corrélations entre la force maximale développée pour une compression de 30 p. cent et le chroma a, coordonnée de chromatocité correspondant à la teinte (ABBAL *et al.*, 1992).

Selon la loi de HOOKE, la force développée lors d'une compression dépend du module de Young, de la surface de contact, de la hauteur et de la déformation de l'objet. Lors de la compression de fruits de forme quasi-sphérique entre deux plans parallèles, les sur-

faces de contact sont de forme pratiquement circulaire et croissent avec le taux de compression (ASAE, 1995 ; STROSHINE *et al.*, 1992). De ce fait la force mesurée s'avère un critère peu pertinent pour comparer le comportement en compression de fruits de dimensions différentes. La prise en compte de la surface de contact, son assimilation à un cercle et l'expression des résultats sous forme de pression permettent de s'affranchir de l'influence du calibre du fruit sur la valeur mesurée.

Cette étude préliminaire a pour but d'évaluer l'adéquation de la pression, déterminée à partir de tests de compression, comme critère de maturité des baies de raisin d'une part et de définir la méthodologie à appliquer pour ce type de mesure d'autre part. Les tests de compression pourraient ainsi se substituer aux méthodes chimiques plus longues à réaliser. Ils auraient de plus l'avantage de rendre compte de l'hétérogénéité des lots de baies, chaque baie étant traitée de manière individuelle. L'obtention de résultats probants pour les cépages rouges devrait permettre à terme l'utilisation de la pression comme critère de détermination rapide et objective de la véraison des cépages blancs. Il sera possible de calculer, avec plus précision, pour les cépages blancs, un indice de précocité de cycle selon la méthode proposée par BARBEAU *et al.* (1998).

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I - MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les essais ont été réalisés sur des baies de raisin du cépage rouge Cabernet franc (CF) provenant de 4 parcelles d'essais « terroirs » de l'INRA en moyenne vallée de la Loire. Deux parcelles expérimentales (ALT et SCI) - CF clone 214 sur porte-greffe 3309 C – sont situées en Anjou. Ces parcelles comportent 125 ceps à une densité de 5 000 ceps/ha. Les deux autres (CHA et TUR) - CF sélection massale sur porte-greffe SO4 – sont situées en Saumurois. Ces parcelles comportent 100 ceps, à une densité de 5 000 ceps/ha. Toutes les parcelles sont taillées selon le système Guyot simple, à la même date.

Les caractéristiques de ces terroirs figurent au tableau I. 100 baies ont été récoltées au hasard au sein de chaque parcelle à raison de une baie par cep, les 17, 21, 24, 28 et 31 août 2000. Cette technique de prélèvement a été choisie préférentiellement à celles consistant à prélever des portions de grappe repérées (LEFORT *et al.*, 1979 ; CARBONNEAU *et al.*, 1991) car la suppression de grappes ou de portions de grappes apporte au terme de la maturation trop de modifications physiologiques (ASSELIN, 1992). Le pédoncule de chaque baie est ciselé avant la mesure au niveau du bourrelet, avec précaution, afin de respecter l'intégrité de la baie. Un second prélèvement de 200 baies, à rai-

TABLEAU I
Caractérisation des Unités de Terroir étudiées [d'après MORLAT (1989 ; 1998)]

Table I - Characteristics of the studied units of terroirs

Unités	Terroir	Caractéristiques
ALT	ANJOU Massif armoricain	Sables limoneux (40 cm) sur argiles épaisses jusqu'à au moins 120 cm de profondeur, résultant de l'altération de schistes de l'Ère Primaire (o4-s3).
SCI	ANJOU Massif armoricain	Limons moyens sableux de 40 cm d'épaisseur sur altération de schistes friables de l'ère primaire (o4-s3).
CHA	SAUMUROIS Bassin parisien	Sols bruns sablo-caillouteux sur grès et poudingues des buttes de l'Éocène continental. Réserves hydriques faibles à moyennes
TUR	SAUMUROIS Bassin parisien	Sols bruns lessivés à forte teneur en eau sur limons d'apport d'origine éolienne. À -70 cm, cordon caillouteux cimenté par des oxydes de fer.

son de 2 baies par cep, est effectué aux mêmes dates pour le suivi analytique de la maturation.

II - TEST DE COMPRESSION

Les tests de compression sont réalisés au moyen du pénétromètre Pénélaup (Sérisud, Montpellier) auquel des modifications ont été apportées au niveau de l'électronique et pour lequel un nouveau logiciel (INRA, LAMPE, Avignon) a été développé afin d'améliorer les performances et la convivialité. L'outil de mesure est équipé d'un embout plan de 3 cm de diamètre. La vitesse de déplacement est de $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ et chaque pas du moteur correspond à un déplacement de 0,0125 mm. Le taux de compression est fixé à 70 p. cent de la hauteur de la baie. Le poids et la hauteur sont enregistrés. La déformation et la force développée sont relevées à chaque arrêt de la sonde, après chaque pas du moteur. Les spectres force/déformation de chaque fruit sont stockés sous forme d'un fichier séquentiel sur le disque dur d'un ordinateur compatible PC.

Les pressions exprimées en pascals (Pa) sont calculées (figure 1) pour chaque déplacement de 0,0125 mm à partir de la déformation (m), de la force (N) et de la hauteur de la baie (m).

Rayon de contact

$$rc^2 = R \cdot \text{déf} - \frac{\text{déf}^2}{4}$$

déf : déformation mesurée ou écrasement (m)

R : hauteur de la baie/2 (m)

Rc : rayon de contact avec la sonde de mesure (m)

Surface de contact

$$S = \pi \cdot \left[R \cdot \text{déf} - \frac{\text{déf}^2}{4} \right] \quad S = \text{surface (m}^2\text{)}$$

Pression pour une zone écrasée

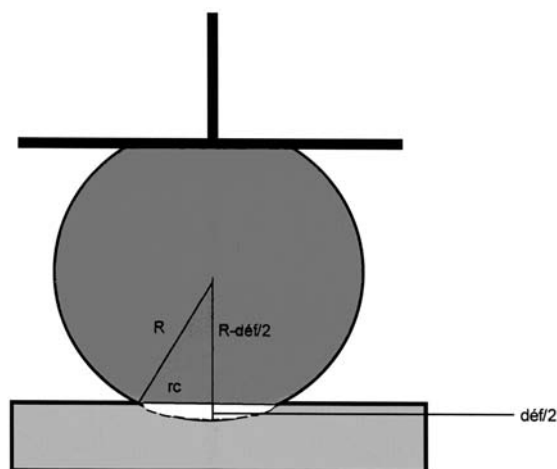


Fig. 1 - Représentation schématique de la compression d'une baie de raisin entre deux plans parallèles.

Scheme of a whole grape berry between two parallel plates.

$$P = \frac{F}{\pi \cdot \left[R \cdot \text{déf} - \frac{\text{déf}^2}{4} \right]} \quad \begin{array}{l} F = \text{force (N)} \\ P = \text{pression (Pa)} \end{array}$$

$$P = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \text{déf} \cdot (2 \cdot \text{hauteur fruit} - \text{déf})} \quad (\text{Pa})$$

III – SUIVI DE MATURATION

Les baies sont réparties de façon aléatoire en deux lots. Le premier lot est broyé, filtré sur coton de verre. Les dosages des sucres (réfractomètre digital), de l'acidité titrable (BBT), et de l'acide malique (dosage enzymatique par flux continu) sont effectués. Le second lot est destiné à la détermination des anthocyanes totales et des polyphénols totaux (RIOU, 1996).

L'indice de maturité est évalué en convertissant les °Brix en g/l de sucres réducteurs, d'après les tables officielles pour les degrés supérieurs à 7,5 ou à l'aide de formules équivalentes (BLOUIN, 1992) pour les valeurs inférieures.

Le taux de véraison de chaque lot est estimé visuellement sur la parcelle. Il est également estimé au laboratoire sur les 300 baies.

L'indice de réfraction est exprimé en °Brix, l'acide malique en g/l. Les anthocyanes sont exprimées en mg/1 000 baies. Cette dernière unité est justifiée par le fait que l'on s'intéresse aux teneurs dans les baies sans chercher à les extrapoler dans les vins et également que l'on veut s'affranchir de la masse des baies, variable selon les terroirs. Il est à noter que dans le cas de moûts peu riches en sucres (moins de 10 degrés Brix), la conversion des °Brix en g/l de sucres est approximative, car la teneur importante en acides interfère sur le résultat. Il convient de parler plutôt de taux de matières sèches (M.S.) que de teneur en sucres. Néanmoins, dans le cas de cette étude, cette conversion est réalisée dans la mesure où la teneur en tant que telle est jugée secondaire par rapport au point d'inflexion de la courbe d'accumulation.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I - COMPRESSION JUSQU'À 70 P. CENT DE LA HAUTEUR DE LA BAIE

L'influence du positionnement de la baie et du taux de compression sur l'allure des courbes force/taux de compression et pression/taux de compression a été étudiée par des essais de compression jusqu'à 70 p. cent de la hauteur de la baie, réalisés au niveau de l'équateur ou au niveau du pédoncule.

L'allure des courbes force/taux de compression et pression/taux de compression diffère suivant le positionnement du fruit (figure 2).

1) Compression au niveau du pédoncule

Les courbes force/taux de compression croissent de manière exponentielle jusqu'au moment de l'éclatement de l'épiderme. Dans certains cas, on peut constater une remontée de la courbe en fin de compression, due probablement à l'écrasement des pépins. Les courbes pression/taux de compression comportent deux parties : une partie quasi-linéaire pour des taux de compression supérieurs à 5 p. cent puis une partie exponentielle pour ceux généralement supérieurs à 30 p. cent. Cet aspect des courbes peut être attribué à la présence d'une partie du pédoncule qui interfère sur la surface de contact de l'outil avec la baie, et à la résistance opposée par le faisceau.

Les déformations relevées au moment de la rupture de l'épiderme correspondent à des taux de compression de l'ordre de 50 p. cent pour les baies non vérees et de 70 p. cent pour les baies vérees (figure 3).

2) Compression au niveau de l'équateur

La courbe force/taux de compression croît de façon continue, mais présente toutefois de nombreux points d'inflexion. Sa partie initiale est quasi-linéaire et ce quel que soit l'état physiologique du fruit. Le maximum de cette partie linéaire correspond à des déformations de l'ordre de 30 p. cent pour les baies non vérees et de 60 p. cent pour les baies vérees (figure 3). Le premier point d'inflexion peut être attribué à la rupture de l'épiderme au niveau de l'attache pédonculaire. Les suivants correspondent à l'éjection du jus hors de la baie, phénomène se produisant en discontinu. La présence d'une remontée de la courbe en fin de compression peut être attribuée à l'écrasement des pépins. La courbe pression/taux de compression présente un plateau pour les compressions comprises entre 5 p. cent du diamètre de la baie et le pourcentage d'écrasement au moment de la rupture de l'épiderme. Ce plateau correspond à la partie linéaire de la courbe force/pourcentage de déformation. Les pressions mesurées au moment de la rupture de l'épiderme sont plus faibles que celles obtenues lors de compressions au niveau du pédoncule.

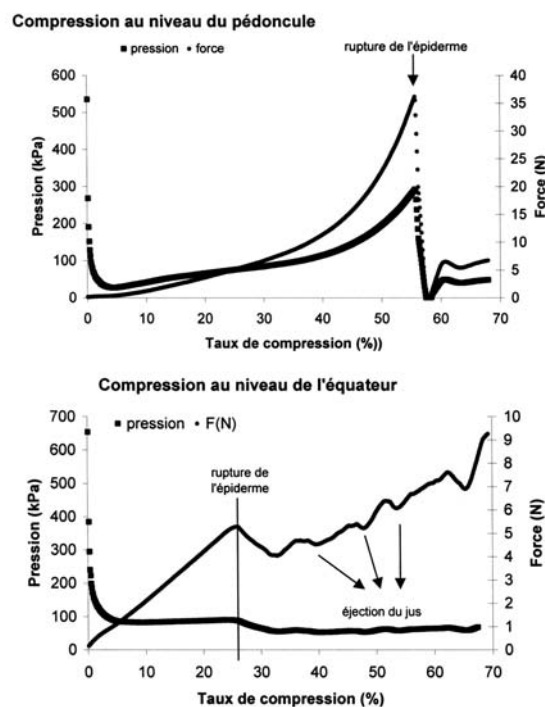


Fig. 2 - Courbes force/taux de compression et pression/taux de compression pour des compressions de 70 p. cent de la hauteur de la baie réalisés au niveau du pédoncule et de l'équateur.

Force/compression ratio and pressure/compression ratio for uniaxial compression test according to the position of the grape berry : peduncular and equatorial (maximum compression ratio = 70 p. cent of the berry height).

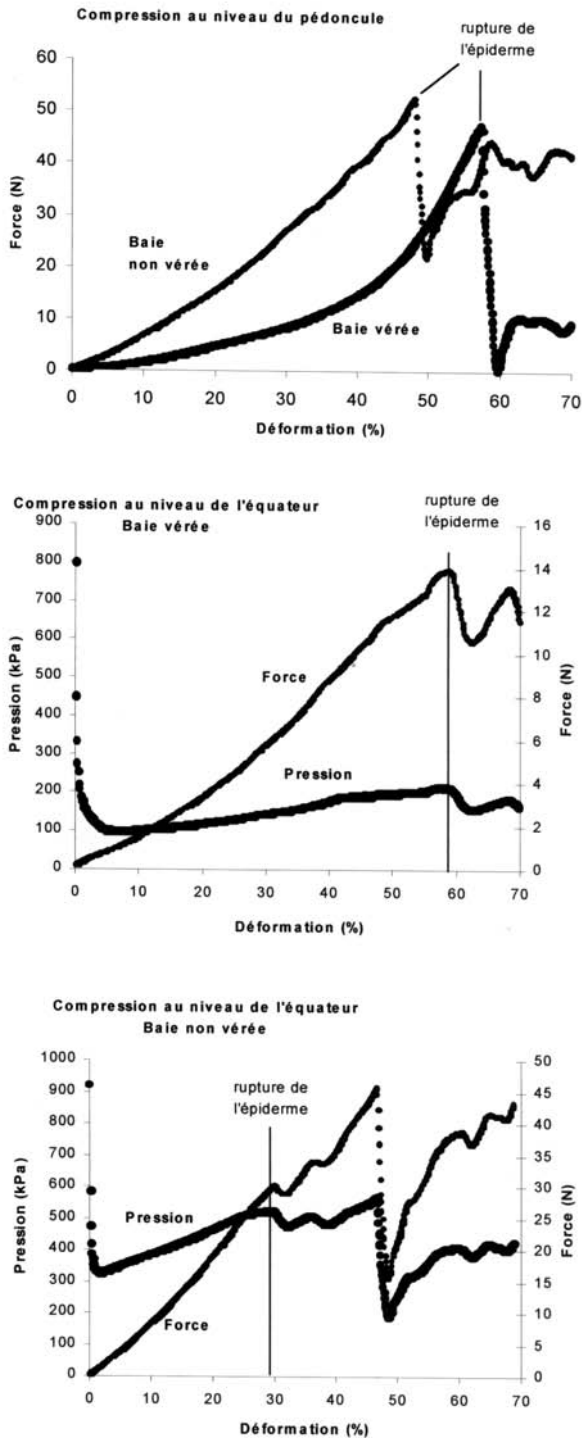


Fig. 3 - Courbes force/taux de compression et pression/taux de compression pour des compressions de 70 p. cent de la hauteur de la baie réalisés au niveau du pédoncule et de l'équateur. Comparaison entre des baies non vérées et des baies vérées.

Force/compression ratio and pressure/compression ratio for uniaxial compression test according to the position of the grape berry : peduncular and equatorial (maximum compression ratio = 70 % of the berry height). Comparison between berries before « véraison » and berries after véraison.

Le choix d'un taux de compression élevé (70 p. cent) conduit à des valeurs de la force maximale et de la pression maximale qui sont les résultantes de plusieurs phénomènes (rupture de l'épiderme, éjection du jus, écrasement des pépins) difficiles à dissocier et donc à interpréter.

Les conditions opératoires appliquées, une hétérogénéité importante de couleur et de fermeté au sein des lots et la réalisation des mesures selon deux orientations n'ont pas permis de différencier les 2 000 baies analysées à partir de la pression maximale mesurée.

Ces résultats conduisent toutefois à privilégier les compressions au niveau de l'équateur de la baie, avec un taux de compression permettant d'obtenir des valeurs situées sur le plateau de la courbe pression/pourcentage de déplacement (globalement comprises entre 5 p. cent du diamètre et le pourcentage atteint lors de la rupture de l'épiderme) (figure 2).

II - COMPRESSION DE 20 P. CENT DE LA HAUTEUR DE LA BAIE

L'examen des 2 000 spectres pression/taux de compression a montré que pour un taux de compression de 20 p. cent, l'orientation de la baie (équatoriale ou pédonculaire) lors de la mesure influence peu les résultats (figure 4). Ceci autorise à calculer pour chaque terroir (ALT, CHA, SCI et TUR) et pour chaque date de prélèvement (17, 21, 24, 28 et 31 août), la pression sous une compression de 20 p. cent à partir de tous les spectres force/déformation.

Le reclassement des baies de chacun des prélèvements, en fonction de l'ordre décroissant de leur pression pour un taux de compression de 20 p. cent de leur hauteur permet de visualiser l'hétérogénéité des lots pour toutes les dates de récolte et tous les terroirs (figure 5).

Le reclassement de toutes les baies issues d'une même parcelle en fonction de la valeur décroissante de la pression est ensuite effectué de manière à obtenir la gamme la plus large possible de pressions.

Le report sur le même graphique (figure 6) de l'ensemble des valeurs des 4 parcelles montre l'existence de deux faisceaux distincts de courbes différenciant les terroirs de provenance : ALT et SCI (Anjou) d'une part et CHA et TUR (Saumurois) d'autre part. Les courbes relatives à CHA et TUR sont des exponentielles décroissantes. Celles correspondant à ALT et SCI présentent plusieurs points d'inflexion. Ces différences sont dues pour partie au niveau de maturité différent. En effet, à niveau équivalent de véraison (figure 7), les différences sont sensiblement moins marquées. Les par-

TABLEAU II
Intervalle des valeurs de pression pour chacune
des classes sélectionnées

Table II - Pressure values corresponding
to pressure grades

classes	Pression (kPa)
50	0-50
75	50-75
100	75-100
125	100-125
150	125-150
200	150-200
250	200-250
300	250-300
350	300-350
400	350-400
500	400-500
600	500-600
ou plus	>600

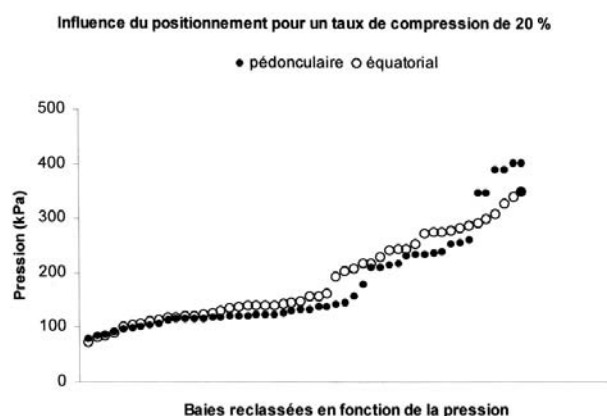


Figure 4 - Influence du positionnement des baies
(pédonculaire et équatorial) pour un taux
de compression de 20 p. cent sur la pression.

Influence of the position of the berries (peduncular and equatorial) for 20 p. cent compression ratio on the pressure.

celles se regroupent alors en trois ensembles : CHA ; SCI et TUR ; ALT.

Ces différences de comportement semblent liées soit à un effet terroir (a), au stade de maturation des raisins (b), à l'hétérogénéité des lots de baies (c) ou aux combinaisons clone/porte-greffe (d).

Les hypothèses a et d ne sont pas vérifiables dans le cadre de cette expérimentation. Pour vérifier les hypothèses b et c, le pourcentage de baies appartenant à diverses classes de pression (tableau II) est calculé pour chaque date de prélèvement de chacune des parcelles (figure 8). Le choix des 13 intervalles de pres-

sions est effectué en se basant sur le reclassement des pressions de toutes les baies d'une même parcelle.

III - DIFFÉRENCES DE DEGRÉ DE MATURATION

Le pourcentage de baies dont la pression est comprise entre 100 et 250 kPa croît avec la maturation des baies (figure 8). Les baies possédant de telles pressions présentent une coloration rosée, indicatrice de l'installation de la véraison.

Les courbes de CHA et TUR ont la même allure (figures 5 et 8) : la majorité des baies possède une pression comprise entre 70 et 200 kPa et la proportion de baies dont la pression est supérieure 350 kPa est faible. TUR présente cependant une proportion plus élevée de baies dont la pression est comprise entre 125 et 200 kPa et est significative d'un retard de maturité par rapport à CHA.

Les courbes de ALT et SCI montrent une distribution différente de CHA et TUR. Ces différences ne sont pas expliquées que par la précocité. Les classes de pression 100-250 kPa et supérieures à 400 kPa présentent les pourcentages les plus élevés de baies. Un nombre plus important de baies appartenant aux classes de pressions supérieures à 400 kPa est obtenu pour ALT et reflète un retard de maturité par rapport à SCI. Ces deux parcelles sont plus tardives que CHA et TUR et ont une véraison plus étalée.

Hétérogénéité au sein des lots de baies

Les pourcentages de baies de chaque classe de pressions sont comparés entre parcelles pour chaque date de prélèvement (figure 8). Les courbes relatives à ALT et SCI présentent un pourcentage important de baies dans chaque classe de pression pour toutes les dates de prélèvement, sauf pour la dernière, où apparemment toutes les baies sont vérees. Celles concernant CHA et TUR ne présentent qu'un seul pic quelle que soit la date de prélèvement. Au vu de ces observations, la concentration des baies d'un même lot sur 2 ou 3 classes de pression jointives ou au contraire leur étalement sur de nombreuses classes de pression disjointes, quelle que soit la date de prélèvement, traduit réciproquement l'homogénéité ou l'hétérogénéité du lot. Les échantillons provenant des deux parcelles du Saumurois (CHA et TUR) sont plus homogènes que ceux des parcelles de l'Anjou (SCI et ALT). Au sein de chaque couple de parcelles, des différences existent également : CHA est plus homogène que TUR et SCI plus que ALT. En revanche, l'hétérogénéité est peu marquée si l'on prend comme critère de dispersion le coefficient de variation (tableau III). Les parcelles sont proches en

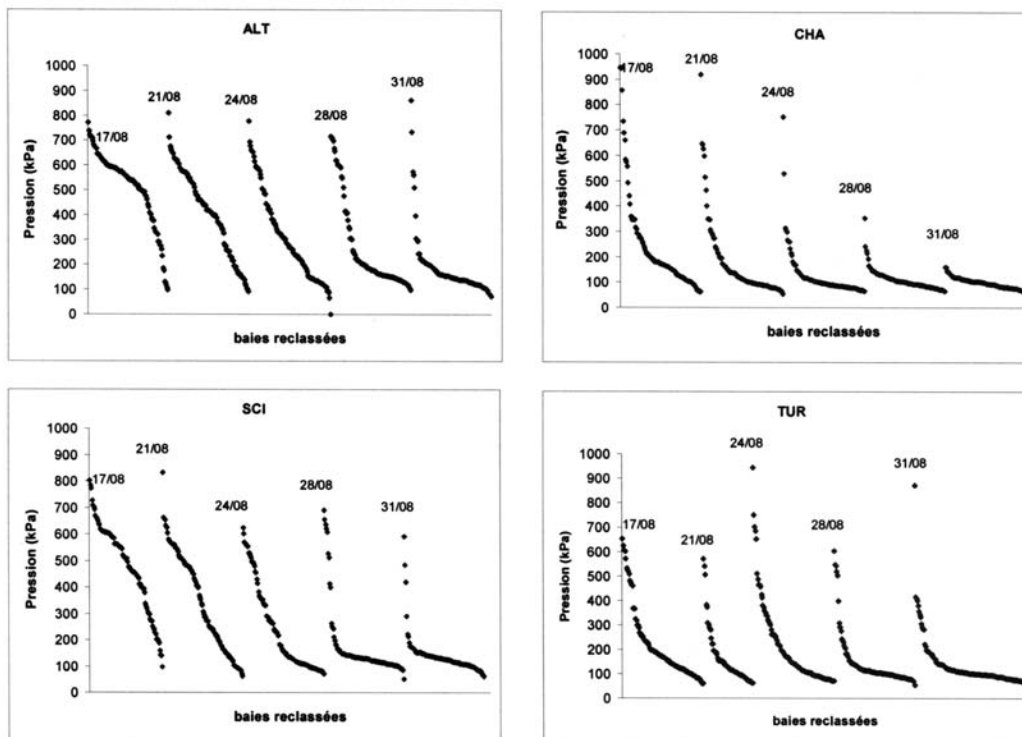


Fig. 5 - Reclassement des baies de chacun des prélèvements de chaque parcelle (ALT, CHA, SCI, TUR) en fonction de l'ordre décroissant de leur pression pour un taux de compression de 20 %.

Reclassification of the grape berries for every sampling date in each terroir (ALT, CHA, SCI, TUR) as a function of the pressure value (compression ratio : 20 %)

TABLEAU III

Hétérogénéité des prélèvements, par parcelle et par date (en grisé : à partir de 10 p. cent de baies vérees)

Table III - Sampling's heterogeneity, for each date and each plots (in grey colour : more than 10 p. cent of veraison)

Parcelle	Date de prélèvement	Minimum	Médiane	Maximum	Moyenne	Écart type	Coefficient de variation (%)
ALT	17/08/01	302,94	545,93	931,36	553,15	111,13	59,39
	21/08/01	105,30	502,31	856,45	486,22	147,15	56,77
	24/08/01	88,07	463,85	847,35	452,27	154,40	53,37
	28/08/01	99,51	375,08	1122,75	381,93	185,50	34,02
	31/08/01	56,60	291,19	962,58	283,23	163,43	29,42
CHA	17/08/01	63,70	381,53	921,87	387,60	185,86	42,05
	21/08/01	65,87	398,09	1137,16	407,17	191,75	35,81
	24/08/01	52,80	128,58	842,69	207,10	161,95	24,58
	28/08/01	60,04	219,31	506,05	212,81	105,64	42,05
	31/08/01	50,76	121,34	419,07	159,14	88,59	37,98
SCI	17/08/01	284,41	564,34	914,30	564,71	107,91	61,76
	21/08/01	122,22	477,62	851,26	468,56	136,87	55,04
	24/08/01	107,33	421,63	877,85	396,24	140,93	45,14
	28/08/01	70,12	269,67	908,19	278,92	161,48	30,71
	31/08/01	44,68	210,56	667,27	221,31	107,97	33,17
TUR	17/08/01	66,94	505,37	889,76	492,80	138,85	55,39
	21/08/01	19,76	466,81	1996,13	464,86	234,70	23,29
	24/08/01	62,83	330,27	1106,35	359,90	234,11	32,53
	28/08/01	53,73	239,29	594,55	239,52	129,99	40,29
	31/08/01	42,59	250,22	854,29	269,18	163,96	31,51

fin de véraison. Il serait intéressant de vérifier si cette différence de répartition existe toujours au abords de la maturité.

IV - SUIVI DE MATURATION

Les dosages biochimiques réalisés sur les prélèvements (INRA, Angers) ne permettent pas d'estimer l'hétérogénéité éventuelle des lots, puisqu'il s'agit dans chaque cas d'une mesure globale. Par contre, ils peuvent mettre en évidence des différences de maturité entre les parcelles.

Les suivis de maturation montrent que l'on peut grouper les parcelles CHA et TUR d'une part, et SCI et ALT d'autre part. Les deux premières présentent une diminution plus rapide de la teneur en acide malique et une augmentation plus rapide de celle en anthocyanes

(figure 9). L'examen des figures 10 et 11 fournit les mêmes indications : ALT et SCI sont plus tardifs et CHA et TUR plus précoces. Cette hiérarchie est également mise en évidence par le suivi du taux de véraison (figure 12), à partir duquel on a extrapolé la date théorique de début véraison (10 p. cent) et de mi-véraison (tableau IV).

Enfin, l'indice de maturité (tableau V), quoique approximatif (voir remarque dans « Matériel et méthodes, 3. ») confirme CHA comme plus précoce, ALT comme plus tardive, et TUR et SCI comme intermédiaires.

Ces résultats confirment les observations réalisées à partir de l'étude de la fermeté.

TABLEAU IV
Date de véraison (date calendaire)

Table IV - Calendrical date of mid-veraison

Parcelle	CHA	TUR	SCI	ALT
10% véraison	234,1	234,6	237,4	237,6
mi-véraison	237,65	239,15	240,45	241,80

TABLEAU V
Indice de maturité 2000

Table V - Maturity index : 2000

Dates	CHA	TUR	SCI	ALT
17/08/2000	1,82	1,55	ND	ND
21/08/2000	2,29	1,72	ND	ND
28/08/2000	8,73	5,65	4,24	3,82
04/09/2000	14,47	10,45	9,45	7,95

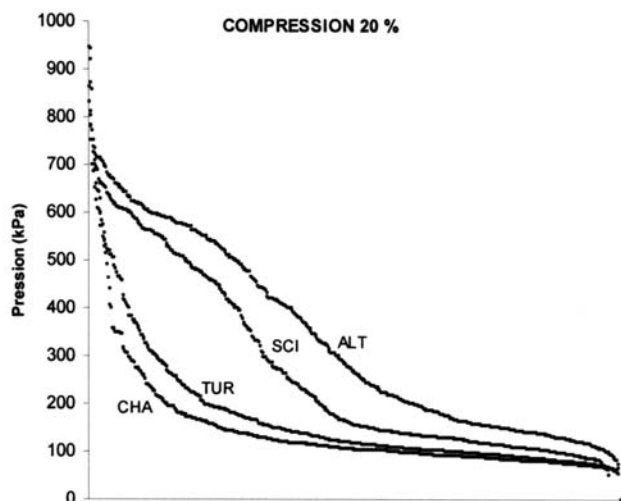


Fig. 6 - Reclassement de l'ensemble des baies pour chacune des parcelles en fonction de la valeur décroissante de leur pression pour une compression de 20 % (ALT et SCI en Saumurois, CHA et TUR en Anjou) à date identique (cinq dates de prélèvements).
Reclassification of all the grape berries from each terroir as a function of the pressure value : compression ratio = 20 % (ALT and SCI from the Saumurois' area, CHA and TUR from the Anjou's area) at the same date (5 dates of sampling).

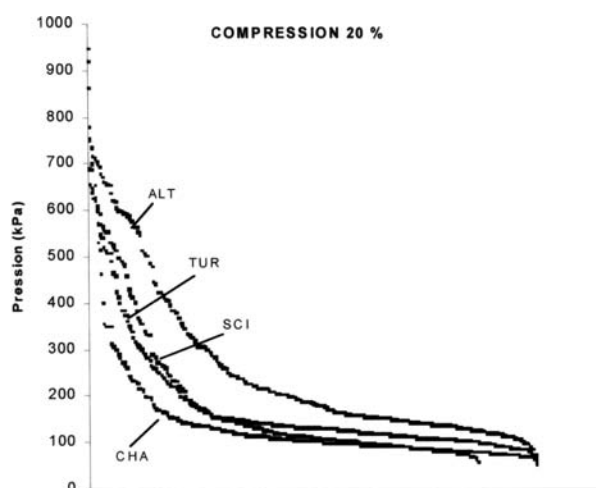


Fig. 7 - Reclassement de l'ensemble des baies issues de chacune des parcelles en fonction de la valeur décroissante de leur pression pour une compression de 20 % (prélèvements en fonction de la valeur décroissante de leur pression pour une compression de 20 % (ALT et SCI en Saumurois, CHA et TUR en Anjou) à niveau de véraison identique (prélèvements du 21/08, 24/08 et 28/08 pour CHA et TUR ; 24/08, 28/08 et 31/08 pour SCI et ALT).
Reclassification of all the grape berries from each terroir as a function of the pressure value : compression ratio = 20 % (ALT and SCI from the Saumurois' area, CHA and TUR from the Anjou's area) at the same level of véraison (dates of sampling : 21/08, 24/08 et 28/08 for CHA and TUR ; 24/08, 28/08 et 31/08 for SCI and ALT).

La date de début de véraison peut être estimée soit par l'observation des premières baies vérees, soit par le passage d'un seuil de véraison faible, par exemple de 10 p. cent (figure 12). Ainsi, il correspondrait pour les parcelles CHA et TUR, à une date comprise entre le 14 et le 17/08 (passage de 0 p. cent à 4 p. cent pour CHA) et le 21/08 (passage du seuil de 10 p. cent de baies vérees). La date de début de véraison correspond à la date du prélèvement suivant pour ALT et SCI (24/08 pour le passage à 10 p. cent).

D'après la figure 8, pour les parcelles ALT et SCI, nous observons pour ces dates une rupture franche dans la répartition par classe de pressions : les classes 75-

150 kPa ne sont quasiment pas représentées le 17/08 (respectivement 5 p. cent et 3 p. cent des baies du lot) alors que nous n'observons pas de baies vérees. Lors du prélèvement suivant, ces proportions sont de 8 et 21 p. cent et nous observons moins de 1 p. cent de baies vérees. Cela peut révéler une maturité plus importante de SCI par rapport à ALT pour ces dates. Pour CHA et TUR, les proportions de baies des classes de pressions 75-150 kPa sont de 37 p. cent et de 40 p. cent dès le 17/08, date où nous observons 4 et 2 p. cent de baies vérees. Ces dernières valeurs sont en concordance avec celles des parcelles ALT et SCI. La date de mi-véraison ne semble pas directement corrélée à la fermeté

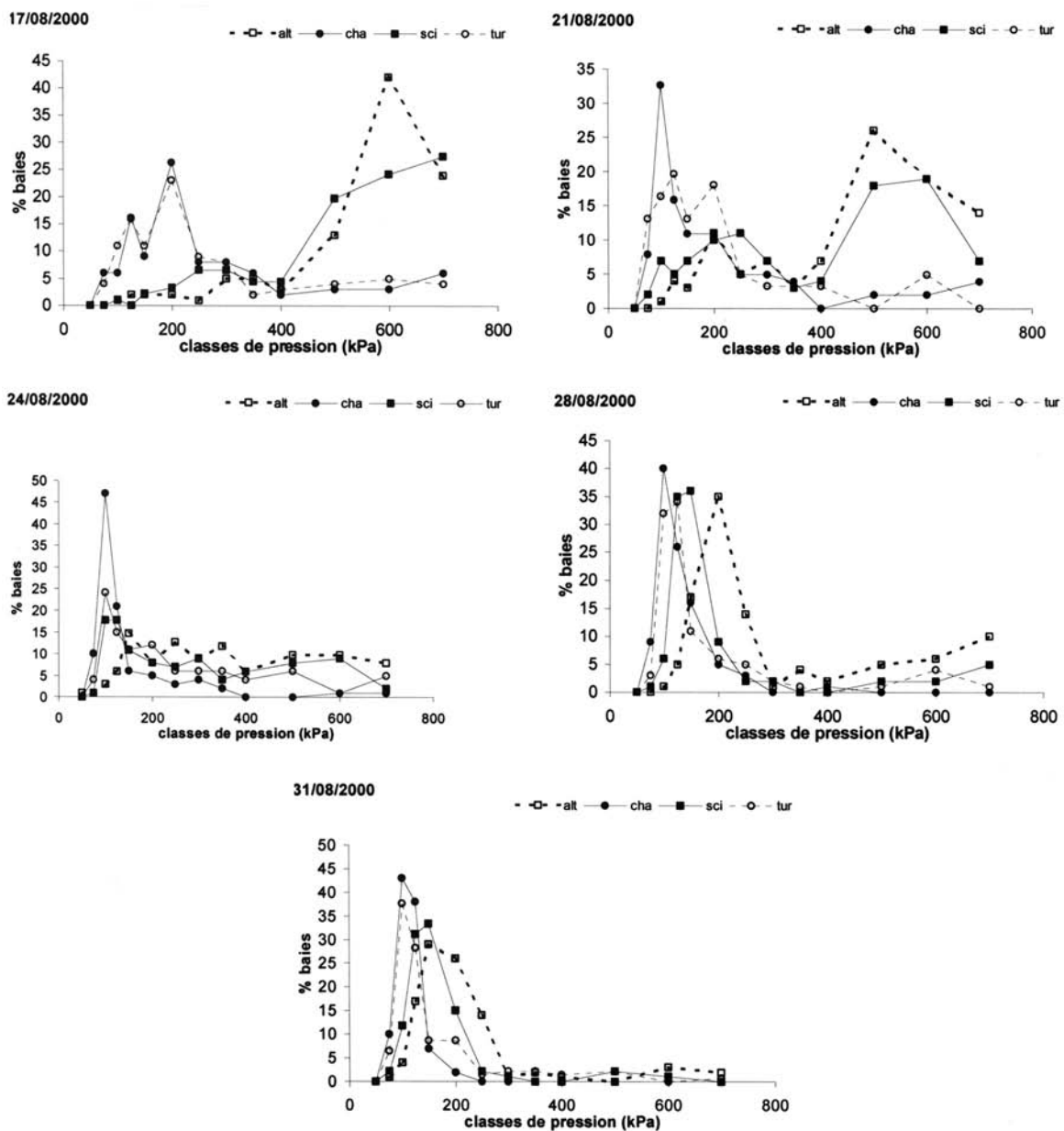


Fig. 8 - Comparaison des pourcentages de baies de chaque classe de pressions pour chaque date de prélèvement.

Percentages of berries from each pressure grade for every sampling date.

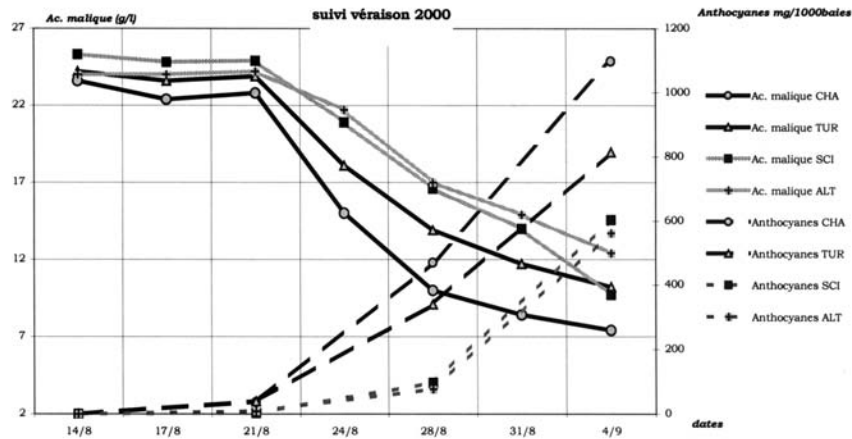


Fig. 9 - Suivi de la véraison. Dosage de l'acide malique et des anthocyanes des baies.
Evolution of the veraison. Dosage of malic acid and anthocyanins in grape berries.

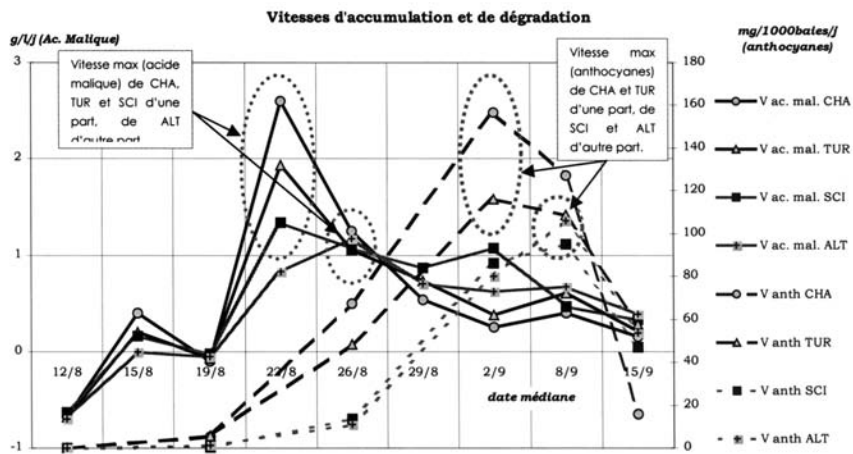


Fig. 10 - Vitesses d'accumulation (anthocyanes) et de dégradation (acide malique). Millésime 2000.
Accumulation rate of anthocyanins and degradation rate of malic acid. 2000 vintage.

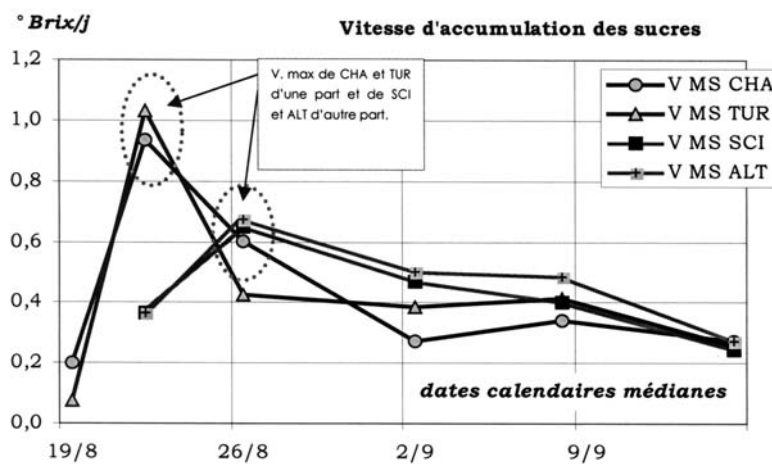


Fig. 11 - Vitesse d'accumulation des sucres.
Accumulation rate of sugars.

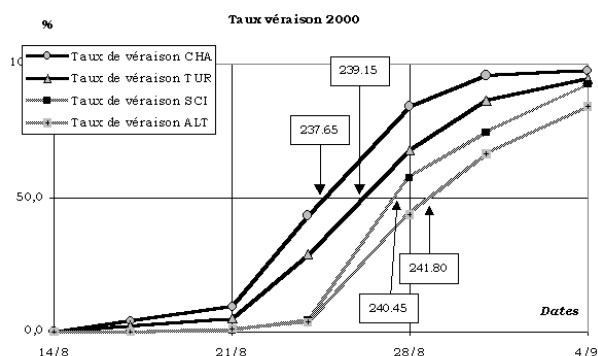


Fig. 12 - Détermination du taux de véraison.

La valeur encadrée correspond à la date calendaire de mi-véraison.

Determination of the veraison rate.

Framed value is related to the calendrical date of mid-veraison.

des prélèvements. En effet, la mesure de la mi-véraison correspond, dans la progression de la coloration des baies à la pente maximum. Ce n'est pas l'intensité de la coloration qui est prise en compte, mais le nombre de baies ayant débuté la synthèse de pigments. La mesure de texture (la valeur baie par baie ou la valeur moyenne pour un prélèvement) prend en compte une modification d'ordre physiologique en terme d'intensité. Elle pourrait donc être liée à l'intensité de la coloration des baies. La hiérarchie des parcelles (précocité) semble par contre respectée.

Des travaux complémentaires devront préciser si une telle classe de pression (par exemple 75-150 kPa) est susceptible de définir un début de véraison.

CONCLUSIONS

Ces tests préliminaires de compression, réalisés sur des lots de baies de Cabernet franc, ont permis de différencier les raisins en fonction de leur degré de maturité et de leur hétérogénéité. La différenciation en fonction des terroirs d'origine est moins nette. Si les tests de compression s'avèrent prometteurs pour la différenciation des stades de maturité et *a fortiori* pour la détection de la véraison, il n'en demeure pas moins que les conditions opératoires doivent être parfaitement définies. Ainsi, la mesure au niveau de l'équateur doit être privilégiée afin de prévenir les interférences du pédoncule sur la surface de contact et la résistance opposée à la compression par le faisceau. Les résultats doivent être exprimés préférentiellement sous forme de pression afin de s'affranchir de l'influence du calibre sur la valeur de la force développée et de permettre une comparaison la plus précise possible entre baies de différentes dimensions. Le taux de compression doit être inférieur à celui correspondant à la rupture de l'épiderme de manière à se situer dans la partie constante de la courbe pression/taux de compression. Ce choix présente l'avantage d'être non destructif et donc de per-

mettre par la suite des analyses biochimiques sur ces mêmes lots. Les conditions opératoires retenues sont : un embout plan de 3 cm de diamètre, une vitesse de déplacement de l'outil de 1 mm.s^{-1} , un positionnement équatorial de la baie et un taux de compression de 20 p. cent de la hauteur du fruit.

La comparaison des résultats des mesures physiques à ceux des dosages chimiques (acide malique, anthocyanes, °Brix) couramment pratiqués à cet effet, montre une bonne concordance quant à l'évaluation du degré de maturité des baies et à la détection du début de la véraison. La mesure de la pression permet de plus d'évaluer, de manière non destructive, l'hétérogénéité des lots. La validité de la méthode sera confirmée par l'analyse de lots représentatifs (gamme de couleur) des divers stades de développement des raisins issus de cépages rouges.

De même, il conviendra d'étudier l'hétérogénéité à l'approche de la maturité.

Si les résultats confortent l'adéquation de la pression déterminée par des tests de compression de 20 p. cent en tant que critère de maturité des cépages rouges, cette méthode pourra être appliquée à la caractérisation de la véraison des cépages blancs.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBAL P., BOULET J.C. et MOUTOUNET M., 1992. Utilisation de paramètres physiques pour la caractérisation de la véraison de la baie de raisin. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **26**, 231-237.
- ASAE, 1995. Compression test of food materials of convex shape. Standards engineering practice and data adopted by the ASAE. ASAE, St. Joseph, MI. ASAE Standard : ASAE S368.2., 1990, 390-394. ASAE Standard : ASAE S368.3, 466-470.
- ASSELIN C., 1992. La maturité : l'échantillonnage et son traitement. Cas de Cabernet franc lors d'essais multiloaux. P.A.V. 13-14, 315-318.
- BAILLOD M. et BAGGIOLINI M., 1993. Les stades repères dans le développement annuel de la vigne. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hort.*, **28**, 7-9.
- BARBEAU G., MORLAT R. et ASSELIN C., 1998. Relations entre précocité de la vigne et composition des baies de divers cépages du Val de Loire. *P.A.V.*, **5**, 106-111.
- BARBEAU G., MORLAT R. et ASSELIN C., 1998. Relations entre précocité de la vigne et composition des baies de divers cépages du Val de Loire. *P.A.V.*, **6**, 127-130.
- BARBEAU G., ASSELIN C. et MORLAT R., 1998. Estimation du potentiel viticole des terroirs en Val de

- Loire selon un indice de précocité du cycle de la vigne. *Bull. O.I.V.*, **805/806**, 248-262.
- BARES J., LEJCKOVA K., PATOCKA K. et BLAHOVEC J., 1994. Role of the skin in compression of berry-like fruits between two plates. *Int. Agrophysics*, **8**, 381-387.
- BLAHOVEC J., 1994. Elastic and strength properties of round agricultural products. *Int. Agrophysics*, **8**, 543-546.
- BLOUIN J., 1992. *Techniques d'analyses des moûts et des vins*. Éd. Dujardin-Salleron, Paris.
- CARBONNEAU A., MOUEIX A., LECLAIR N. et RENOUX J.L., 1991. Proposition d'une méthode de prélèvement de raisins à partir de l'analyse de l'hétérogénéité de maturation sur un cep. *Bull. O.I.V.*, **64**, 679-690.
- GALET P., 1993. Précis de viticulture, 6^e éd. Imprimerie Déhan, Montpellier.
- HARKER F.R., REDGWELL R.J. et HALLETT I.C., 1997. Texture of fresh fruit. *Hort. Rev.*, **20**, 121-224.
- HUGLIN P., 1986. *Biologie et écologie de la vigne*. Ed. Payot, Lausanne.
- LEFORT P.L., SCHAEFFER A., BISSON J., BECKER P. et IMMELE A., 1979. Etude des variations de maturité des grappes de vigne selon leur position sur la souche. Recherche d'une méthode d'échantillonnage. *Vitis*, **18**, 291-300.
- MORLAT R., 1989. Le terroir viticole : contribution à l'étude de sa caractérisation et de son influence sur les vins. Application aux vignobles rouges de Moyenne Vallée de la Loire. *Thèse doctorat*, Université de Bordeaux II.
- MORLAT R., 1998. Les relations entre le terroir, la vigne et le vin. *C. R. Acad. Agric. France*, **84**, 19-32.
- OJEDA H., LEBON E., ROMIEU C., CARBONNEAU A., ANDARY C. et DELOIRE A., 1999. Relations entre le stress hydrique et la croissance des baies de *Vitis vinifera* L. CV. Syrah. Évolution des phénols. 11^e Journées du GESCO, Marsala (Italie), 15 au 17 juin 1995, 185-192.
- RIBEREAU-GAYON J., PEYNAUD E., RIBÉREAU-GAYON P. et SUDRAUD P., 1975. *Traité d'œnologie*, tome 2. Éd. Bordas, Paris.
- RIBEREAU-GAYON J. et PEYNAUD E., 1980. *Traité d'ampélogie*, tome 1. Éd. Dunod, Paris.
- RIOU V. et ASSELIN C., 1996. Potentiel polyphénolique disponible du raisin. Estimation rapide par l'extraction partielle à chaud. *Progress Agric. Vitic.*, **113**, 382-384.
- ROBIN J.P., ABBAL P. et FLANZY C., 1996. 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. In : 5^e Symp. Int. Œnol., Bordeaux 15-17 juin 1995. Lavoisier Tec & Doc éd., Paris, 109-114.
- ROBIN J.P., ABBAL P. et SALMON J.M., 1997. Fermeté et maturation du raisin. Définition et évolution de différents paramètres rhéologiques au cours de la maturation. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **31**, 127-138.
- SATO A., YAMANE H., HIRAKAWA N., OTOBE K. et YAMADA M., 1997. Varietal differences in the texture of grape berries measured by penetration tests. *Vitis*, **36**, 1, 7-10.
- STROSHINE R., PITT R. et HAMANN D., 1992. Physical properties of agricultural materials and food products. ABE 305. STROSHINE R. Ed., Purdue University, West Lafayette.

Reçu le 20 février 2001
accepté pour publication le 12 mai 2001
