

Influence des propriétés mécaniques des baies de Cabernet Franc sur l'évolution et l'extractibilité des anthocyanes

Imen ZOUID, René SIRET, Emira MEHINAGIC, Chantal MAURY et Frédérique JOURJON

UPSP GRAPPE, UMT VINITERA, Ecole supérieure d'agriculture, rue Rabelais 55, BP 30748, F-49007 Angers Cedex 01, France

Renseignements: Frédérique Jourjon, e-mail: f.jourjon@groupe-esa.com, tél. +33 241 23 55 55



Cabernet Franc du Pays de la Loire (F).



Mesure des propriétés mécaniques du raisin.

Introduction

La qualité des vins rouges dépend essentiellement de la qualité du raisin et des techniques de vinification adoptées. Elle est déterminée particulièrement par les composés phénoliques, notamment les anthocyanes qui sont responsables de la couleur rouge (Cheynier *et al.* 1994). Les anthocyanes s'accumulent dans la pellicule de la baie au niveau des vacuoles des cellules hypodermiques (Amrani Joutei et Glories 1995; Boos et

Davies 2009). La diffusion, depuis la pellicule, de ces composés vers le milieu liquide dépend de la tendance des parois cellulaires à les laisser passer. La perméabilité de la pellicule est liée à la structure des cellules et du tissu cellulaire. Un des phénomènes permettant la diffusion des anthocyanes est la dégradation des polymères pariétaux. La perte de la fermeté du fruit au cours de la maturation et de la dégradation des pectines a été particulièrement étudiée. En effet, on associe le ramollissement de beaucoup de fruits à une perte

de fermeté et à des modifications structurales des parois cellulaires. Cependant, il est difficile d'expliquer les mécanismes mis en jeu et le lien avec les différents phénomènes physiologiques impliqués dans la modification des parois au cours de la maturation. Dans ce contexte, des investigations basées sur l'utilisation de techniques objectives pour mesurer les propriétés mécaniques et rhéologiques des baies de raisin peuvent être utiles. De nombreux travaux menés sur différents fruits tels que la tomate et la pomme ont montré des corrélations significatives entre l'évolution de la texture, la composition chimique et la qualité organoleptique (Bourne 2002; Mehinagic *et al.* 2004; Van Linden 2007). Sur le raisin, les travaux sont plus limités: de récents travaux ont étudié l'évolution des propriétés mécaniques de la baie en relation avec la maturation ou/ et le type de terroir (Le Moigne 2008; Rolle *et al.* 2008; Maury *et al.* 2009; Torchio *et al.* 2010). Cependant, plus d'informations sur la contribution du comportement rhéologique du raisin à la diffusion des composés phénoliques sont requises. Ce dernier point constitue l'objectif de ce travail.

Matériel et méthodes

Origines des échantillons étudiés

Des raisins de Cabernet Franc ont été prélevés hebdomadairement du 10 septembre au 8 octobre 2007 (cinq stades de maturation respectivement codés C, D, E, F et G). La première date (10 septembre) correspond à 21 jours après mi-véraison, et la dernière date (8 octobre) correspond à la vendange. Afin de prendre en compte une part de la variabilité liée à l'origine du matériel végétal, des baies provenant de trois parcelles différentes (1, 2 et 3) dans le Val de Loire (France) ont été sélectionnées. Les parcelles géographiquement proches sont cependant caractérisées par des types de sol différents. Le sol de la parcelle 1 est à dominante argileuse, celui de la parcelle 2 est plutôt sableux tandis que la parcelle 3 possède un sol du type arénacé vert. Afin de prendre en compte l'hétérogénéité de la parcelle et de suivre le développement général du raisin, 450 baies, avec leurs pédicelles, ont été prélevées aléatoirement sur chaque parcelle et à chaque stade de maturation. Les baies ont ensuite été divisées en trois lots: le premier, composé de 50 baies, destiné à l'étude des propriétés mécaniques mesurées par double compression; le deuxième, composé de 30 baies, pour une mesure de pénétration sur baie et le troisième, composé de 300 baies, pour l'étude de l'extractibilité des anthocyanes de la pellicule de raisin. >

Résumé

La qualité des vins rouges dépend de nombreux facteurs relatifs à la qualité de la matière première et aux techniques de vinification employées. Elle est déterminée en grande partie par les composés phénoliques, plus particulièrement les anthocyanes qui sont responsables de la couleur rouge. Leur extraction à partir de la baie de raisin s'effectue, au cours des procédés de vinification, essentiellement pendant la phase de macération. Leur libération dans le milieu liquide est notamment conditionnée par la dégradation des polysaccharides des parois végétales de la baie de raisin. Ce travail vise à mieux comprendre la contribution, au cours de la maturation, des propriétés mécaniques de la baie de raisin à l'extractibilité des anthocyanes. Les propriétés mécaniques des baies ont été déterminées par des mesures de double compression et de pénétration. En parallèle, l'évolution de l'extractibilité des anthocyanes en milieu hydroalcoolique au cours de la maturation a été déterminée. Les résultats ont montré des différences significatives en termes de propriétés mécaniques et d'extractibilité des anthocyanes des baies de raisin pendant la maturation. Un modèle de régression linéaire multiple a été établi pour expliquer l'évolution de l'extractibilité des anthocyanes, en utilisant les propriétés mécaniques des baies de raisin comme variables. Nos résultats montrent que le potentiel d'extraction des anthocyanes peut être lié et prédit par les propriétés mécaniques des baies de raisin. À terme, ces résultats permettraient de fournir aux professionnels de la filière un outil d'aide à la décision afin de mieux piloter les itinéraires de vinification en fonction du potentiel qualitatif des raisins.

Double compression

La mesure de double compression est réalisée avec une machine universelle de texture de type MTS, Synergie 200. Les baies sont placées en position équatoriale entre deux plateaux et compressées à hauteur de 20 %, à une vitesse de 50 mm.min⁻¹ (fig.1A). Les courbes de force en fonction de la déformation sont analysées et huit paramètres ont été extraits pour chaque mesure: la force maximale de la 1^{re} compression (**F₁**) en Newton (N), la force maximale de la 2^e compression (**F₂**) (N), le travail lié au 1^{er} et 2^e cycle de compression (**W_{F1}** et **W_{F2}**) respectivement en mJ, la pente de la 1^{re} compression (**Grad₁**) et celle de la 2^e compression (**Grad₂**) en N/mm. Deux paramètres complémentaires en sont déduits: la **cohésion** qui est le rapport entre **W_{F2}** et **W_{F1}** et le caractère **gommeux** qui est le produit entre **F₁** et la **cohésion**.

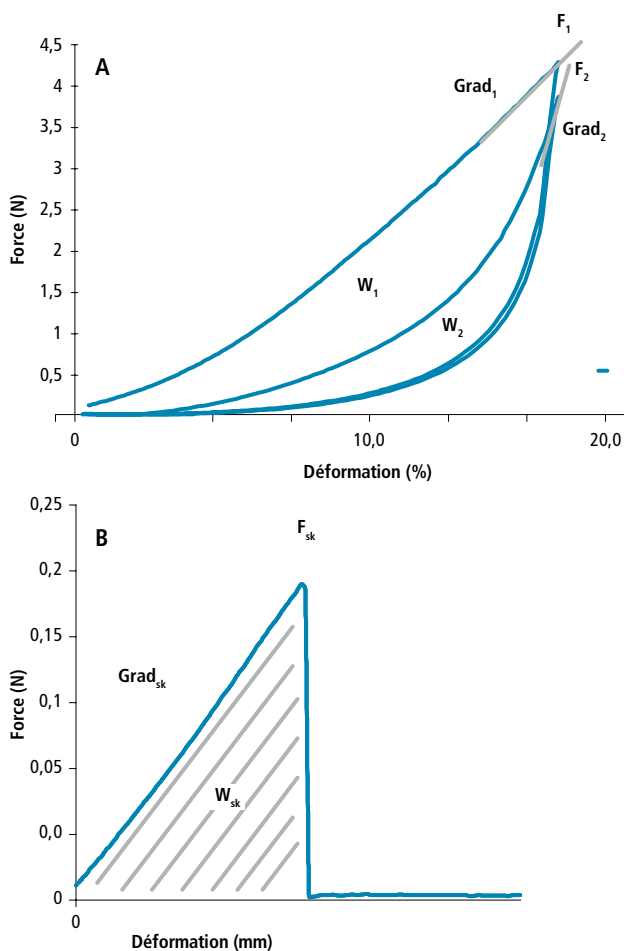


Figure 1 | (A) Courbe type de double compression Force/Déformation obtenue à partir des baies de raisin de Cabernet Franc. (B) Courbe type de pénétrométrie Force/Déformation obtenue à partir des baies de raisin de Cabernet Franc.

Pénétrométrie

Le test de pénétrométrie a été effectué sur les baies de raisin selon Maury *et al.* (2009). La mesure s'effectue sur les baies en position équatoriale à une vitesse de 8 mm/min à une profondeur de 2 mm avec une sonde de 0,16 mm de diamètre. Les courbes force/déformation (fig.1B) ont pu être analysées et trois paramètres ont été extraits: la force à la rupture (**F_{sk}**) en N; l'énergie nécessaire pour pénétrer la baie (**W_{sk}**) en mJ et la pente associée à la force à la rupture (**Grad_{sk}**) en N/mm, correspondant au module de Young selon Letaief *et al.* (2008).

Extraction en milieu hydroalcoolique

Les pellicules issues de 50 baies sont placées dans des flacons hermétiques contenant 150 ml de solution modèle composée de 12 % EtOH, 3 g/l d'acide tartrique, 100 mg/l de SO₂ (Fournand *et al.* 2006). Le pH est ensuite ajusté à 3,5 et les flacons sont rendus inertes avec de l'azote et placés à une température constante de 20 °C pendant sept jours. A la fin de la macération, les liquides d'extraction ainsi que le matériel végétal résiduel ont été récupérés séparément. Toutes les expérimentations d'extraction ont été réalisées en triplicata. Le récapitulatif du matériel végétal étudié est rapporté dans la figure 2.

Le broyat lyophilisé obtenu à partir des pellicules initiales (40 mg), ainsi que celui obtenu à partir des pellicules résiduelles de l'extraction en solution modèle, sont soumis à une extraction avec 2 ml de méthanol et 2 x 2 ml d'acétone/eau/TFA (70/30/0,05, v/v/v). Les surnageants collectés et réunis, soit 8 ml, sont alors évaporés à 30 °C pendant trois heures. Les extraits secs sont repris dans 1,5 ml de méthanol/eau/HCl (10/89/1, v/v/v). L'analyse et la quantification des anthocyanes libres par CLHP selon Le Moigne (2008) sont réalisées sur l'en-

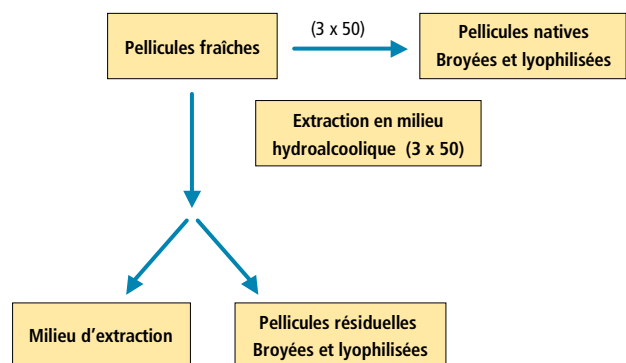


Figure 2 | Récapitulatif du protocole utilisé avec le matériel végétal étudié pour la détermination de l'extractibilité des anthocyanes.

semble des échantillons et sur les extraits des solutions modèles. Le taux d'extraction des anthocyanes est calculé en faisant le rapport des quantités extraites dans le milieu de macération divisées par les quantités initialement présentes dans le matériel végétal.

Traitements des données

Des analyses statistiques telles que des tests LSD (Least Significant Differences), une ANOVA à deux facteurs ainsi qu'une analyse de la régression multiple ont été réalisées à l'aide du logiciel Statgraphics® Plus 5.0.

Résultats

Propriétés mécaniques de la baie de raisin

Selon l'ANOVA, des différences significatives à un seuil de 5 % entre les dates de maturité et les parcelles pour tous les paramètres de la double compression sont observées (tabl.1). Le comportement rhéologique des baies de raisin déterminé par la double compression montre, au cours de la maturation, de légères variations qui restent cependant significatives. Les valeurs de tous les paramètres (F_1 , F_2 , W_{F1} , W_{F2} , $Grad_1$, $Grad_2$ et **gommeux**), à l'exception de la **cohésion**, diminuent au cours de la maturation. On note aussi une légère aug-

Tableau 1 | Valeurs de Fisher et probabilités associées des analyses de variance à deux facteurs (date et parcelle) sur les variables de la double compression

Para-mètres	Date		Parcelle		Date x Parcelle	
	F-ratio	p-value	F-ratio	p-value	F-ratio	p-value
F_1	9,88	< 0,001	7,38	< 0,001	2,28	< 0,05
F_2	8,98	< 0,001	7,09	< 0,001	2,52	< 0,05
$Grad_1$	4,29	< 0,01	5,41	< 0,01	2,48	< 0,05
$Grad_2$	6,30	< 0,001	3,95	< 0,05	1,77	ns
W_{F1}	7,70	< 0,001	13,33	< 0,001	2,32	< 0,05
W_{F2}	7,05	< 0,001	10,95	< 0,001	2,25	< 0,05
Cohésion	3,35	< 0,01	9,47	< 0,001	3,88	< 0,001
Gommeux	7,98	< 0,001	6,71	< 0,01	2,52	< 0,05

Tableau 2 | Valeurs de Fisher et probabilités associées des analyses de variance à deux facteurs (date et parcelle) sur les variables de la pénétrométrie

Para-mètres	Date		Parcelle		Date x Parcelle	
	F-ratio	p-value	F-ratio	p-value	F-ratio	p-value
F_{sk}	2,81	< 0,05	1,11	ns	0,71	ns
$Grad_{sk}$	16,21	< 0,001	10,49	< 0,001	1,16	ns
W_{sk}	0,85	ns	6,22	< 0,01	0,37	ns

mentation de la valeur de ces paramètres au moment de la date de vendange (date G). Selon Coombe et Phillips (1980), le ramollissement de la baie est dû à la diminution de l'élasticité du péricarpe. La fermeté de la baie dépend essentiellement de la pression de la turgescence et de la structure des parois cellulaires (Du Plessis 2008; Goulao et Oliveira 2008). Les mesures de la double compression ont, au travers de nos résultats, montré que les propriétés rhéologiques des baies évoluent pendant la maturation et qu'elles sont également dépendantes du type de parcelle d'où proviennent les baies analysées.

La pénétrométrie permet de mesurer la capacité de la pellicule à se déchirer et donc de fournir d'éventuelles informations en lien avec la libération des composés phénoliques de la pellicule. Plusieurs auteurs ont utilisé cette technique dans le but de suivre la maturation ou bien de différencier les cépages.

Le paramètre module de Young ($Grad_{sk}$) permet de différencier les stades de maturation étudiés pour chaque parcelle (tabl.2). Les valeurs de ce dernier diminuent au cours de la maturation (respectivement 0,38–0,33, 0,37–0,28 et 0,38–0,30 N/mm pour les parcelles 1, 2 et 3). Ces résultats sont en accord avec les travaux de Vargas *et al.* (2001) qui ont montré que le gradient ou le coefficient d'élasticité peut être considéré comme un bon indicateur de la texture de la baie pour le cépage Thompson.

L'ensemble de ces résultats montrent l'intérêt d'apprécier l'évolution des propriétés mécaniques des baies par des méthodes complémentaires (double compression et pénétrométrie). En effet, chaque technique permet d'appréhender différemment le comportement mécanique de la baie. L'étude simultanée des propriétés mécaniques des baies à l'aide de ces deux méthodes physiques a permis une interprétation globale de la perte de fermeté de la baie au cours de la maturation.

Evolution et extractibilité des anthocyanes de la pellicule au cours de la maturation

Cette partie du travail a pour objectif d'étudier, au cours de la maturation des raisins, l'évolution quantitative et qualitative des anthocyanes au sein de la pellicule ainsi que leur extractibilité en solution modèle hydroalcoolique. Le suivi de la quantité des anthocyanes libres au sein des pellicules a été effectué par chromatographie CLHP. En intégrant la totalité des anthocyanes libres absorbant à 520 nm, des différences significatives sont observées entre les différentes dates

et les parcelles. Les formes libres des anthocyanes diminuent légèrement à la date de vendange. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Vicens (2007). Le suivi de la richesse en anthocyanes des raisins est un critère de qualité appelé «maturité phénolique». Il a souvent été observé que les baies riches en composés phénoliques ne produisent pas nécessairement des vins aussi riches en composés phénoliques, d'où l'intérêt de déterminer leur extractibilité.

Dans notre étude, une évolution significative du taux d'extraction des anthocyanes calculé par rapport aux quantités initialement présentes a été observée durant la phase de maturation. En effet, on note une augmentation de ce ratio au cours des deux premières semaines de l'étude (dates C et D) (fig.3). Le pourcentage d'extraction atteint son maximum à la date D pour toutes les parcelles puis diminue de la date E à la date F pour augmenter de nouveau à la date G.

Paramètres mécaniques de la baie et extractibilité des anthocyanes

Dans le but de déterminer des liens potentiels entre les propriétés mécaniques et l'extractibilité des composés phénoliques de la baie de raisin, la capacité des variables de la texture à décrire l'évolution du pourcentage d'extraction des anthocyanes de la pellicule a été évaluée. Pour cela, le pourcentage d'extraction constitue la variable à évaluer à l'aide d'un modèle de régression à variables multiples. Les variables explicatives dans ce cas sont la texture et le degré Brix.

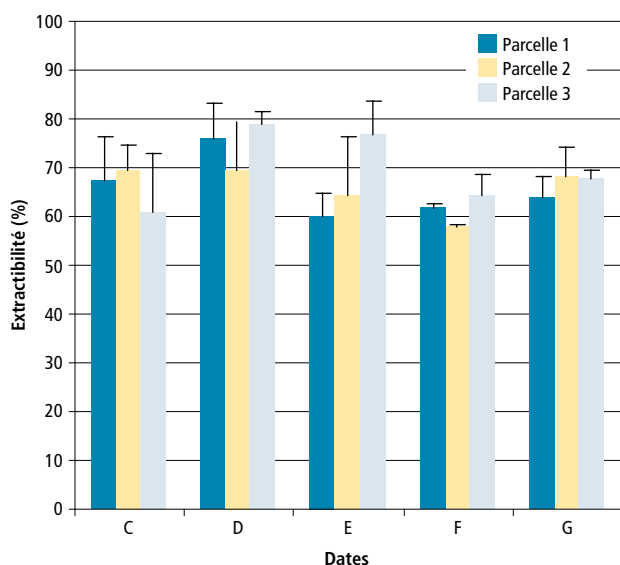


Figure 3 | Evolution des pourcentages d'extraction des anthocyanes libres au cours de la maturation.

Le meilleur modèle prédictif du pourcentage d'extraction des anthocyanes de la pellicule (fig. 4) est significatif au seuil de 0,01 avec un coefficient de corrélation de 82 %:

$$EY(AT) = 902,68 \times W_{sk} - 900,86 \times F_{sk} + 317,57 \times Grad_{sk} + 91,39 \times W_1 - 223,98 \times W_2 + 103,74 \times Grad_1 - 6,17 \times \text{°Brix} + 211,46.$$

Cela nous permet de confirmer en premier lieu les liens entre les propriétés mécaniques des baies et l'extractibilité des anthocyanes de la pellicule. Il semble aussi que les raisins ayant un module de Young $Grad_{sk}$ élevé, et donc un caractère spongieux, permettent plus facilement la diffusion des anthocyanes de la pellicule dans des solutions modèles hydroalcooliques. Pour confirmer ce premier résultat, il semble donc important de travailler sur un réseau de parcelles plus important pendant plusieurs millésimes. Les relations entre les propriétés mécaniques des baies et l'extractibilité des anthocyanes de la pellicule ont été mises en évidence.

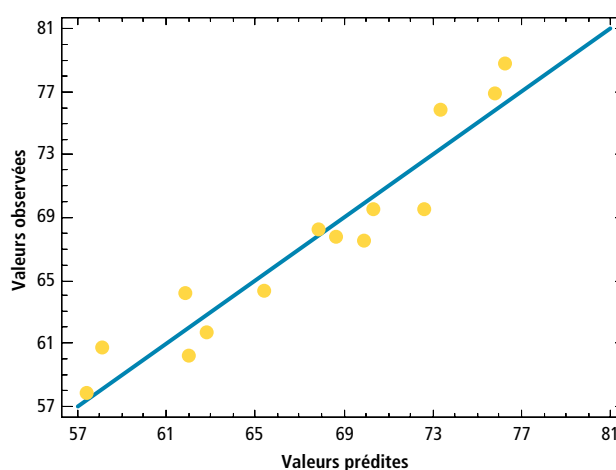


Figure 4 | Valeurs observées du pourcentage d'extraction des anthocyanes par rapport aux valeurs prédites.

Conclusions

- Ce travail vise à mieux comprendre la contribution, au cours de la maturation, des propriétés mécaniques de la baie de raisin à l'extractibilité des anthocyanes.
- Un modèle de régression linéaire multiple a été établi pour expliquer l'évolution de l'extractibilité des anthocyanes, en utilisant les propriétés mécaniques des baies de raisin comme variables.
- Nos résultats montrent que le potentiel d'extraction des anthocyanes peut être lié et prédit par les propriétés mécaniques des baies de raisin.
- A terme, ces résultats permettraient de fournir aux professionnels de la filière un outil d'aide à la décision pour mieux piloter les itinéraires de vinification en fonction du potentiel qualitatif des raisins et notamment de la mesure de leurs propriétés texturales.

■ Links between mechanical properties of grape berries during ripening and extractability of their skin anthocyanins

Summary

The understanding of the mechanical behavior of winegrapes during ripening and its impact on the release of anthocyanins is important for wine quality control. The characterization of the mechanical properties of grape berries appears to be an essential parameter for understanding grape ripening, owing to its key role regarding the main compounds responsible for wine quality such as anthocyanins. Nevertheless, few studies have been conducted on wine grape texture analyses. The evolution of the mechanical properties of Cabernet Franc grapes belonging to three different vineyards during ripening was studied by performing rheological tests (compression and puncture tests) and correlating these changes with their degree of ripeness and with skin anthocyanin extractability. Results show that differences in the easiness of anthocyanin extraction could be linked to differences in the mechanical behavior of berries and that the extraction yield of anthocyanins from grapes could be predicted by their rheological properties.

Key words: ripening, compression, puncture test, anthocyanins extractability, grapes.

Bibliographie

- Amrani Joutei K. & Glories Y., 1995. Tanins et anthocyanes: localisation dans la baie de raisin et mode d'extraction. *Rev. franc. Enol.* **153**, 28–31.
- Boss P. K. & Davies C., 2009. Molecular biology of anthocyanin accumulation in grapes berries. In: *Grape molecular physiology of biotechnology*, éd. Springer Netherlands, 263–292.
- Bourne M. C., 2002. Food texture and viscosity, concept and measurement, 2nd ed. London Academic Press, Elsevier, 487 p.
- Cheynier V., Souquet J., Kontek A. & Moutounet M., 1994. Anthocyanin degradation in oxidising grape musts. *J. Sci. Food Agric.* **66**, 283–288.
- Coombe B. G. & Phillips P. E., 1980. Development of the grape berry. III. Compositional changes during veraison measured by sequential hypodermic sampling. UCD Grape and Wine Continental Symposium. University of California, Davis.
- Du Plessis B. W., 2008. Cellular factors that affect table grape berry firmness. Master Thesis, Stellenbosch University.
- Fourmand D., Vicens A., Sidhoum L., Souquet J. M., Moutenet M. & Cheynier V., 2006. Accumulation and extractability of grape skin tannins and anthocyanins at different advanced physiological stages. *J. Agric. Food Chem.* **54**, 7331–7338.
- Goulao L. F. & Oliveira C. M., 2008. Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit. *Trends Food Sci. Technol.* **19**, 4–25.
- Le Moigne M., 2008. Recherche de mesures innovantes pour suivre la qualité du raisin de Cabernet Franc pendant la maturation. Thèse de doctorat, de l'Université d'Angers, 254 p.
- Letaief H., Rolle L. & Gerbi V., 2008. Assessment of the grape skin hardness by a puncture test. *J. Sci. Food Agric.* **88**, 1567–1575.
- Maury C., Madieta E., Le Moigne M., Mehinagic E., Siret R. & Jourjon F., 2009. Development of a mechanical texture test to evaluate the ripening process of Cabernet Franc. *J. Texture Studies* **40**, 511–535.
- Mehinagic E., Royer G., Bertrand D. & Jourjon F., 2004. Prediction of the sensory quality of apples by physical measurements. *Postharvest Biology and Technology* **34**, 257–269.
- Rolle L., Torchio F., Zeppa G. & Gerbi V., 2008. Anthocyanin extractability assessment of grape skins by texture analysis. *J. Int. Sci. Vigne Vin* **42**, 157–162.
- Torchio F., Cagnasso E., Gerbi V. & Rolle L., 2010. Mechanical properties, phenolic composition and extractability indices of Barbera grapes of different solids contents from several growing areas. *Anal. Chim. Acta* **660**, 183–189.
- Van Linden Veerle, 2007. Identification of fruit parameters responsible for impact-bruising of tomatoes. Thèse n° 732, Faculté Bio-ingénieurswetenschappen Van de K. U. Leuven, 167 p.
- Vargas A., Perez J., Zoffoli J.P. & Perez A., 2001. Comparación de variables de textura en la medición de firmeza de bayas de uva Thompson seedless. *Cien. Inv. Agr.* **28**, 37–42.
- Vicens A., 2007. Etude de l'évolution des composés phénoliques et des polysaccharides pariétaux de la pellicule de raisin pendant la maturation – Impact sur leur extractibilité en milieu hydroalcoolique. Thèse de doctorat, de l'Université Montpellier II, 194 p.

Zusammenfassung**Einfluss der mechanischen Eigenschaften der Cabernet-Franc-Trauben auf das Reifen und die Extrahierbarkeit von Anthocyanen**

Die Qualität der Rotweine hängt von zahlreichen Faktoren ab, die mit der Qualität des Rohstoffs und den angewandten Weinbereitungstechniken in Beziehung stehen. Sie wird grösstenteils durch die Phenol-Verbindungen bestimmt, und besonders durch die Anthocyanine, die für die rote Farbe verantwortlich sind. Deren Auszug aus den Trauben findet während der Weinbereitung statt, das heisst hauptsächlich während der Mazeration, und ihre Freisetzung im flüssigen Milieu ist vor allem durch die Degradation der Polysaccharide in der Beerenfruchtschale bedingt. Diese Arbeit zielt darauf, den Anteil der mechanischen Eigenschaften der Trauben zur Extraktionsfähigkeit der Anthocyanine während der Reifungsphase besser zu verstehen. Die mechanischen Eigenschaften der Beeren sind durch Messungen der doppelten Kompression und der Penetrometrie bestimmt worden. Parallel dazu ist die Entwicklung der Extraktionsfähigkeit der Anthocyanine im hydroalkoholischen Milieu im Verlauf der Reife definiert worden. Die Ergebnisse haben signifikante Unterschiede bezüglich der mechanischen Eigenschaften und der Extraktionsfähigkeit der Anthocyanine der Beeren während der Reife gezeigt. Es wurde ein Modell der mehrfachen linearen Regression erstellt, um die Entwicklung der Extraktionsfähigkeit der Anthocyanine zu erklären, indem man die mechanischen Eigenschaften der Beeren als Variable nutzt. Unsere Ergebnisse zeigen, dass das Extraktionspotenzial der Anthocyanine möglicherweise durch die mechanischen Eigenschaften der Beeren bedingt ist und vorausgesagt werden kann. Auf Dauer würden diese Ergebnisse den Fachleuten des Berufszweiges gestatten, bei ihren Entscheidungen über ein Hilfsmittel zu verfügen, das Ihnen erlaubt, den Verlauf der Weinbereitung gemäss dem qualitativen Potenzial der Trauben besser zu steuern.

Riassunto**Proprietà meccaniche delle bacche di Cabernet Franc durante la maturazione: relazione con l'evoluzione degli antociani e la loro estraibilità in soluzione idroalcolica**

La qualità dei vini rossi dipende da numerosi fattori relativi alla qualità della materia prima e alle tecniche di vinificazione adottate. In larga misura è legata ai composti fenolici e in particolare agli antociani, responsabili del colore rosso, la cui estrazione dalle bacche avviene essenzialmente durante la vinificazione, nella fase di macerazione. La loro diffusione nel mezzo liquido è particolarmente condizionata dalla degradazione dei polisaccaridi delle pareti vegetali dell'acino. Il lavoro mira a meglio comprendere l'effetto delle proprietà meccaniche della bacca e l'estraibilità degli antociani durante la maturazione. Le proprietà meccaniche delle bacche sono state determinate per doppia compressione e penetrometria. Parallelamente è stata determinata l'evoluzione dell'estraibilità degli antociani in soluzione idroalcolica durante la maturazione. I risultati mostrano, in termini di proprietà meccaniche e di estraibilità degli antociani dalla bacca durante la maturazione, delle differenze significative. Per spiegare l'evoluzione dell'estraibilità degli antociani è stato messo a punto un modello di regressione lineare multiplo utilizzando le proprietà meccaniche delle bacche come variabili. I nostri risultati rivelano che il potenziale di estrazione degli antociani può essere legato e stimato sulla base delle proprietà meccaniche dell'acino. In conclusione, questi risultati permetteranno di fornire uno strumento utile a supporto dei tecnici nelle scelte di vinificazione in funzione del potenziale qualitativo delle uve.