

Système optique d'estimation des rendements à la parcelle

Eric SERRANO¹, Flora DIAS¹, Sylvie ROUSSEL², Christophe GUIZARD³

¹Institut Français de la Vigne et du Vin – Pôle Sud-Ouest - V'Innopôle - BP 22 - 81310 LISLE/TARN

²Ondalys - 385, avenue des Barronnes - 34730 PRADES LE LEZ

³Cemagref - 361, rue JF. Breton - BP 5095 - 34196 MONTPELLIER Cedex 1

Email: eric.serrano@vignevin.com

Résumé : La maîtrise des rendements, initialement légiférée pour limiter le volume de vin sur le marché, est progressivement devenue un outil incontournable de la qualité du produit fini. Mais connaître avec fiabilité les rendements viticoles avant les vendanges demeure laborieux, les méthodes actuellement proposées pour une estimation du rendement à la parcelle – essentiellement basées sur des comptages d'inflorescences, de grappes par souche ou de baies par grappe – nécessitent une mise en œuvre lourde au vu de la qualité de l'information fournie. Dans la plupart des cas, il s'avère ainsi difficile d'obtenir des précisions inférieures à 10%. L'Institut Technique de la Vigne et du Vin (ITV France) a, depuis 5 ans, développé une étude sur l'estimation des rendements dont l'originalité repose sur l'existence d'une corrélation entre le volume de la grappe durant son développement et son poids à la vendange. En Partenariat avec le Cemagref de Montpellier et la société Ondalys, un système portable permettant d'estimer le volume de la grappe à partir d'une photo numérique a été mis au point. Le dispositif se substitue aux méthodes destructives traditionnelles. Une série de test (répétabilité, reproductibilité) ont été réalisés pour la mise au point de ce capteur piéton. Plus de vingt mille données sont traitées statistiquement; elles portent sur quatre millésimes (2001-2004), trois stades phénologiques (nouaison, fermeture de grappe et début véraison), et 19 cépages du genre *Vitis vinifera*. Les modèles ont été construits par variété, à chaque stade. La performance des modèles a été mesurée en fonction de différents critères de variation (millésime, terroir, cépage). Les prédictions de poids moyens de grappes sont satisfaisantes à partir du stade fermeture de grappe, avec des erreurs moyennes en cross-validation inférieures à 10%. Sur la base de ces acquis, le capteur piéton optique, REV, a été testé et développé en 2005 en vue d'une industrialisation de la méthode. Les résultats confirment la stabilité du système et des modèles. L'appareil développé permet des mesures directes au vignoble simple et rapide pour aboutir à des erreurs moyennes d'estimation du poids de la grappe inférieures à 10%.

Introduction

La production viticole a toujours été marquée par l'irrégularité de la quantité de la vendange d'une année à l'autre. Un des enjeux est de pouvoir fournir à l'ensemble des acteurs de la filière impliqués dans l'estimation d'un rendement une méthode fiable et rapide permettant des pronostics précoces. Différentes méthodes ont tenté de pronostiquer de façon précoce le volume de récolte pour des secteurs géographiques plus ou moins étendus. Les premières tentatives d'estimation des rendements sont notifiées dans la bibliographie en 1955 (Wurgler, Leyvraz et Bolay). A l'échelle de la parcelle, les études les plus abouties portent essentiellement sur des comptages d'inflorescences, de grappes par souche ou de baies par grappe (Murisier, 1986). Des études menées en Alsace (1957-1971, Huglin et Schneider) indiquent que le poids moyen des grappes est le facteur primordial de variations engendrant les sources d'erreur. Dufourcq et Serrano (2003) ont démontré que le coefficient de variation annuel du poids moyen des grappes sur une même parcelle de Négrette atteint 15%, confirmant les résultats d'Huglin et al. (1975) sur Syrah ou de Gerbier et Remois (1977) en Champagne. Aussi, si certaines des méthodes proposées permettent d'obtenir des estimations satisfaisantes, elles ont été peu développées dans la pratique car elles nécessitent soit l'acquisition de données historiques sur une longue période (schneider, 1997), soit une mise en œuvre trop lourde (comptage du nombre de grains présents sur la grappe, nombre de grains par rameau, poids des grains) au vu de la qualité de l'information fournie (Booyens et Al, 1978). Cette étude pose comme condition l'affranchissement des variables nombres de baies par grappes et poids moyen indicatif d'une baie en raison de la lourdeur de mise en pratique de telles observations. De 1999 à 2004, l'étude a porté sur la mise en évidence d'une corrélation entre le volume de la grappe durant son développement et son poids à la vendange. Au cours de la première phase de croissance des baies, une période optimale de mesure, la fermeture de la grappe, a été déterminée pour la mise au point d'un modèle mathématique de corrélation (Serrano et Al, 2005). Au vu des résultats, un capteur optique piéton a été conçu et testé afin d'industrialiser la méthode développée. Le programme de recherche de 2004 à 2005 a consisté à valider la performance du système en termes de répétabilité et reproductibilité et à générer

des modèles statistiques de corrélation sur la base de volumes calculés par l'image.

Matériels et méthodes

Plus de vingt mille données portant sur le volume de la grappe à différents stades phénologiques de la vigne et son poids à la récolte ont été collectées. Cette banque de données expérimentales a été constituée sur dix neuf cépages *Vitis vinifera* au cours de six millésimes (1999 à 2004). Les cépages étudiés sont le Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Colombard, Auxerois, Duras, Fer Servadou, Gamay, Grenache, Gros Manseng, Loin de l'œil, Mauzac, Merlot, Muscadelle, Négrette, Sauvignon B., Syrah, Tannat et Ugni B. Pour chacun d'eux, deux à trois parcelles sont identifiées en fonction de leur niveau de production ou de leur type de sol. Dans un premier temps, la forme d'une grappe a été assimilée à un cône. Les mesures sur fruits ont porté sur la hauteur et la circonférence de la grappe à l'aide d'un outil artisanal permettant une mesure directe.

En 2005, le volume d'une grappe est estimé par une simple prise de vue photographique à l'aide d'un capteur piéton, appelé REV (Rendement Estimé par le Volume). L'image est ensuite traitée pour approcher le volume réel d'une grappe. La méthode consiste à calculer le volume de la grappe à partir de l'image en 2 dimensions, en coupant l'image en tranches horizontales (environ une cinquantaine); pour chaque tranche, le rectangle inscrit sur la surface segmentée de la grappe est calculé, et le volume de la tranche est calculé grâce à la formule du cylindre (donc en considérant une symétrie axiale de la grappe). Les mesures sont effectuées aux stades nouaison, début de fermeture de la grappe et début véraison sur un échantillon de 50 à 200 grappes par parcelle. Elles sont baguées et identifiées lors de la première mesure. Elles sont pesées individuellement à la récolte.

Estimation de l'erreur d'échantillonnage

Sur plusieurs parcelles de vigne, de superficies de 0,3 ha à 0,6 ha, est déterminé pour chacun des pieds le nombre de grappes présentes. L'enregistrement des données est réalisé dans le respect de la disposition des pieds au sein de la parcelle. Divers schémas d'échantillonnage sont simulés portant d'une part sur le nombre d'individus au sein de l'échantillon, et d'autre part sur la répartition géographique de l'échantillon. Un traitement statistique de l'image a été réalisé en collaboration avec l'Institut National Polytechnique de Toulouse afin de calculer l'erreur induite par l'échantillonnage.

Tests de répétabilité et reproductibilité

Une série d'essais a été conduite afin d'évaluer la répétabilité et la reproductibilité de la prédiction du poids des grappes à partir d'images enregistrées avec le capteur piéton REV. Plusieurs opérateurs ont mesuré 20 grappes 5 fois. Les traitements statistiques ont porté sur des tests de répétabilité moyenne et intra-opérateur. Pour chaque opérateur, l'écart type, la médiane et les quartiles des 5 mesures de la même grappe ont été calculés. La reproductibilité intègre les répétitions de mesure effectuées par l'ensemble des opérateurs.

Modèle de corrélation linéaire

Les modèles proposés sont basés sur des régressions linéaires, selon l'équation, où est l'estimation du poids. Dans un premier temps, les modèles sont calculés pour chaque variété, millésime et stade phénologique. Ils sont ensuite validés par le traitement statistique en Validation Croisée (leave-one-out cross-validation). Cette méthode de validation consiste à générer N modèles par permutation, chacun d'eux étant étalonné sur N - 1 individus, et testé sur l'individu n'ayant pas participé au modèle. La pertinence des modèles est évaluée à partir de l'Erreur Standard issue Validation Croisée (SECV - Standard Error of Cross-Validation). Cette erreur peut être exprimée en % par rapport au poids moyen de la grappe propre à la parcelle considérée, produisant alors un Coefficient de Variation. Dans un deuxième temps, les modèles sont validés par une série de tests indépendants. Les modèles sont calculés à partir des données issues de millésimes antérieurs et évalués sur leur capacité à prédire les poids des grappes du millésime 2004. Le logiciel de traitement des données utilisé est MATLAB (The Mathworks, NATIC, USA).

Résultats et discussions

Optimisation de l'échantillonnage : nombre de pieds à observer : Combien de ceps échantillonner pour être le plus précis possible ? La figure 1 présente la part d'erreur induite par l'échantillonnage, aléatoire ou en bloc, d'un nombre croissant de pieds.

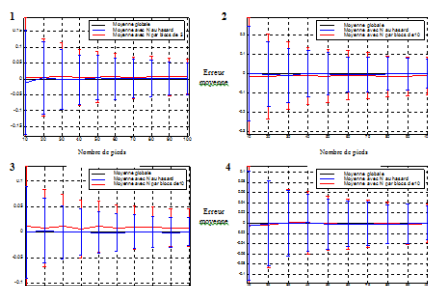


Figure 1
Ecart par rapport à la moyenne du nombre de grappes par pied, en fonction d'un échantillon N de pieds dénombrés ; 1 : Négarotte ; 2 : Duras ; 3 : Colombard ; 4 : Merlot ; millésime 2001

Quelle que soit la configuration de la parcelle, l'échantillonnage est plus précis lorsqu'on effectue des prélèvements de façon aléatoire. L'échantillonnage en bloc engendre une erreur supérieure de 1% à 5%, en fonction des parcelles et en fonction du nombre de pieds pris en compte. Une précision intéressante de l'échantillonnage, définie par l'écart à la moyenne, est obtenue à partir d'un échantillon d'au moins 40 pieds. Cet écart varie de 14% (Duras) à 4% (Colombard). Il est fonction de la surface considérée, de sa densité de plantation et de son hétérogénéité (pieds manquants ou hétérogénéité éco-physiologique).

Au delà de 60 pieds dénombrés, le gain en précision n'est pas augmenté. Un échantillonnage d'au moins 40 pieds apparaît nécessaire pour limiter l'erreur de mesure tout en conservant une mise en œuvre au vignoble réalisable. En deçà, le risque d'erreur est augmenté de façon importante ; au delà, le gain en pertinence est limité pour le temps à y consacrer.

Mise au point d'un capteur piéton de mesure du volume de la grappe : Un système portable permettant d'estimer le volume de la grappe à partir d'une photo numérique a été mis au point. Le volume d'une grappe est estimé par une simple prise de vue photographique. L'image est ensuite traitée pour approcher le volume réel d'une grappe.

TEST DE REPETABILITE : La figure suivante montre que la répétabilité moyenne des opérateurs est située entre 7 et 8.5%. Par contre, pour une même grappe, la répétabilité n'est pas la même pour tous les opérateurs. L'analyse des données montrent que le niveau de répétabilité n'est pas dépendant de la symétrie et la compacité des grappes.

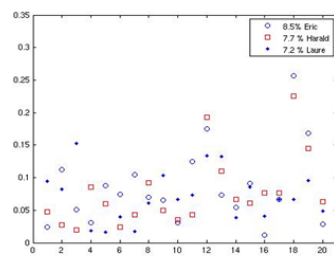


Figure 2
Répétabilité des trois opérateurs pour chaque grappe

TEST DE REPRODUCTIBILITE : La figure suivante montre la reproductibilité pour chaque grappe, classées en 4 catégories. La reproductibilité moyenne par catégorie augmente légèrement en fonction de l'asymétrie de la grappe et de sa compacité, mais ce critère n'est pas réellement significatif sur ce petit nombre de grappes. Ces résultats montrent que les répétabilités des opérateurs sont satisfaisantes, avec les coefficients de variation inférieurs à 10% (7-8.5%). La reproductibilité se situe aussi autour de 10%, celle-ci variant légèrement en fonction du type de grappes (Symétrique ou non, compactes ou non), de 9% pour les grappes les plus faciles à mesurer (symétriques, lâches) à 11% pour les grappes ailées et compactes. La différence de répétabilité et de reproductibilité entre catégories de grappes n'est pas significative...

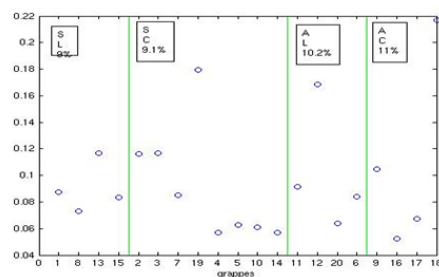


Figure 3
Reproductibilité (M1) en fonction des catégories de grappes

Modèles de corrélation pour l'estimation des poids moyens des grappes : Quel que soit le stade phénologique, le coefficient de corrélation calculé par étalonnage pour un cépage donné, un millésime donné et un stade phénologique donné est élevé. Les moyennes obtenues sur l'ensemble des cépages et des millésimes sont présentées dans le tableau 1. Coefficients de détermination (r^2) moyen de la relation linéaire entre le volume de la grappe à différents stades phénologiques et son poids à la vendange (19 cépages, 4 millésimes)

Stade	r^2 (étalonnage)	r^2 (validation croisée)
Nouaison	0.91	0.42
Fermeture de la grappe	0.90	0.71
Véraison	0.91	0.76

Tableau 1
Coefficients de détermination (r^2) moyen de la relation linéaire entre le volume de la grappe à différents stades phénologiques et son poids à la vendange (19 cépages, 4 millésimes)

Les performances des modèles en validation croisée sont plus hétérogènes mais demeurent très satisfaisantes pour les stades les plus tardifs. A la nouaison, les erreurs sont moins acceptables, comprises entre 10 et 40 g (SECV). Quel que soit le millésime ou le cépage, la qualité de l'estimation est systématiquement plus précise lorsque la mesure est plus tardive. Il existe notamment une grande différence entre les résultats obtenus à la nouaison et ceux issus des deux autres stades phénologiques (figure 4).

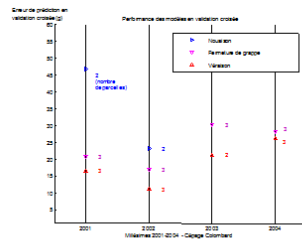


Figure 4
Performance du modèle en Validation Croisée sur Colombard selon le stade phénologique

La figure 5 montre les coefficients de variation obtenus en Validation Croisée pour l'ensemble des cépages au stade fermeture de la grappe. Les performances des modèles présentent des erreurs moyennes proches de 10 %, l'ensemble d'entre-elles étant inférieure à 20%. Si le modèle est construit à partir de plusieurs parcelles par cépage, les performances de l'estimation baissent, quel que soit le stade phénologique.

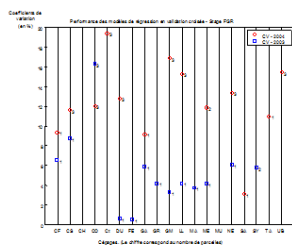


Figure 5
Coefficients de variation en Validation Croisée des 19 cépages en 2003 et 2004 au stade fermeture de la grappe

Les mêmes tendances sont observées à l'analyse des données obtenues à la véraison, avec des coefficients de variation légèrement meilleurs, inférieurs dans tous les cas à 13 %, pour l'estimation du poids moyen de la grappe par parcelle. En 2005, la construction des modèles basés sur les mesures réalisées par le REV mettent en évidence de meilleurs résultats par une plus grande stabilité des coefficients de variations et des valeurs inférieures à 10% (tableau 2). L'utilisation du capteur optique permet d'améliorer la précision des modèles.

Validation des modèles par l'estimation du poids moyen pour l'année suivante : Parmi les 19 variétés étudiées, seulement 4 ont fait l'objet de mesures durant 4 années (2001 à

Parcelle	Cépage	Poids réel récolte (g)	Poids estimé par le REV (g)	Erreur (g)	Erreur (%)
1	Négrette	221	193	28	13%
2	Négrette	251	239	12	5%
3	Négrette	180	166	14	8%
1	Duras	262	243	19	7%
2	Duras	218	225	7	3%
1	Cabernet Sauvignon	111	112	1	1%
2	Cabernet Sauvignon	96	100	4	4%
3	Cabernet Sauvignon	100	92	8	8%
1	Cabernet Franc	111	102	9	8%
2	Cabernet Franc	135	131	4	3%
3	Cabernet Franc	111	101	10	9%

Tableau 2
Coefficients de variation en Validation Croisée en 2005 au stade fermeture de la grappe des mesures du capteur piéton

2004) au stade phénologique fermeture de la grappe et véraison : Colombard, Duras, Merlot et Négrette. Une première analyse des modèles montre que ces derniers sont différents selon les millésimes (figure 6). Le millésime 2003 s'avère être atypique pour 3 des 4 variétés étudiées (exception du Colombard).

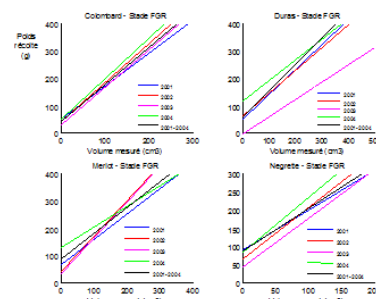


Figure 6
Modèles de corrélation de 4 cépages au stade fermeture de la grappe

L'étude est réalisée sur le millésime 2004 à partir de modèles bâtis sur toutes les combinaisons possibles, issues des années précédentes (2001 à 2003). Lorsque les modèles sont bâtis sur les données de 3 années, les coefficients de variation augmentent en moyenne d'un facteur 1,5 à 2, en comparaison aux meilleures performances obtenues par le modèle en Validation Croisée sur le même millésime. La figure 7 montre les résultats des estimations pour le cépage Négrette au stade fermeture de la grappe.

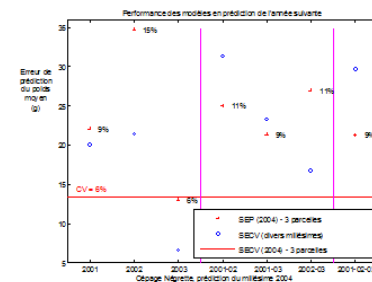


Figure 7
Performance du modèle pour l'estimation du millésime 2004 à partir de données antérieures

Quand le modèle est calculé sur une seule année, les performances sont très différentes d'une année à l'autre, selon la proximité entre l'année modélisée et l'année à prédire. Lorsque plusieurs années sont incluses dans le modèle, la stabilité des prédictions augmente, permettant d'obtenir une performance moyenne intéressante proche de 9 %.

Capteurs et couleurs des baies : Les capacités associées à l'image et son traitement dans le visible et l'invisible permettent d'envisager un développement des fonctionnalités du capteur au champ, notamment via la caractérisation de la qualité du raisin. De nouvelles recherches sont entreprises pour associer la vision à l'évolution de la couleur des baies au cours de la maturation et à l'estimation d'une maturité aromatique. Les travaux actuellement réalisés portent sur le développement d'algorithmes permettant de garantir l'invariance colorimétrique des images acquises par le prototype. Ces travaux,

en bonne voie, devraient permettre un suivi colorimétrique dans le temps des grappes afin d'estimer leur maturité aromatique.

Conclusions

Cette étude statistique met en évidence la pertinence de la mesure du volume d'une grappe durant sa phase herbacée pour en estimer son poids à la récolte. Des modèles de corrélation stables ont pu être mis en évidence entre la mesure du volume à la fermeture de la grappe ou à la véraison, et son poids à la vendange. Sur les cépages présentant une banque de données importante, des erreurs d'estimation inférieure à 10% sont obtenues. Un effet parcelle est mis en évidence mais celui-ci tend à être gommé par le regroupement de données issues de plusieurs millésimes. La mise au point d'un capteur optique piéton, permet d'envisager des applications de terrain simple et fiable. Son utilisation améliore la précision des modèles de prédiction.

Références bibliographiques

BOOYSEN J.H., ORFFER C.J., BEUKMAN E.T., 1978. Crop forecasting for vine grapes in South-Africa. OVRl Stellenbosch, 78-94.

GERBIER N., REMOIS P., 1977. Influence du climat sur la qualité et la production du vin de Champagne. Monographie n°106, Météorologie Nationale.

HUGLIN P., BALTHAZARD J., 1975. Variabilité et fluctuation de la composition des inflorescences et des grappes chez quelques variétés de *V. vinifera*. *Vitis*, 6-13.

MURISIER F., JEANGROS B., AERNY J., 1986. Maîtrise du rendement et maturité du raisin. *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* Vol 18 (3) : 149-156.

SCHNEIDER C., 1995. La prévision, un outil pour la maîtrise des fluctuations de rendement en viticulture. *C.R. GESCO*, 240-246.

SERRANO E., DUFOURCQ T., CHABERT M., 2002. Recherche d'une méthode simple et fiable d'estimation des rendements à la parcelle. Actes de colloque Journée Technique Maîtrise des rendements en viticulture, dec. 2002. Station Régionale ITV Midi-Pyrénées.

WURGLER W., LEYVRAZ H. ET BOLAY A., 1955. Peut-on prévoir le rendement de la vigne avant le débournement? *Annuaire agr. D. I. Suisse*, 766-783.