

Utilisation de la télédétection satellitaire pour la caractérisation des potentialités viticoles

SATELLITE IMAGERY : A TOOL FOR LARGE SCALE VINEYARD MANAGEMENT

J. ROUSSEAU⁽¹⁾, H. POILVE⁽²⁾, B. TISSEYRE⁽³⁾, J. COLLAS⁽⁴⁾, D. GRANES⁽⁵⁾

(1) Groupe Institut Coopératif du Vin La Jasse de Maurin F34970 [LATTES jrousseau@icv.fr](mailto:LATTES.jrousseau@icv.fr)

(2) INFOTERRA Parc Technologique du Canal - 15, Avenue de l'Europe F31522 RAMONVILLE, France

(3) SUPAGRO UMR ITAP Place Viala F34060 MONTPELLIER France

(4) Vignerons du Mont Tauch F11350 TUCHAN

RESUME

La télédétection à l'aide de bandes proche infra rouge permet de caractériser la variabilité intraparcellaire des vignobles à l'aide d'indices de végétation. De 2007 à 2009, une étude réalisée sur le vignoble d'une cave coopérative de la région de Fitou (France) pour caractériser le potentiel œnologique des vignes. Un indice de végétation, la fraction de couvert végétal, utilisé sur des cultures de plein champ (blé, riz maïs...) a été appliqué au vignoble. Dans un premier temps, il fut montré que l'utilisation d'images de résolution à 2m/pixel donnait la même précision de cartographie de la variabilité intraparcellaire que des images à 0,5 m/pixel de résolution, ce qui permet de recourir à des images satellitaires couvrant soit 57 600 ha, soit 302 500 ha (soit respectivement 24 km x 24 km ou 55 km x 55 km). Ensuite, un indice d'hétérogénéité, adapté de l'indice de Pringle est calculé pour chaque parcelle, qui peut être décrite par un indice de fraction de couvert végétal (indice de « vigueur ») et par un indice d'hétérogénéité. La détection automatique de niveaux élevés de surfaces de sol nu peut également être réalisée.

Chaque vigne peut ainsi être caractérisée par ces indices, et regroupée avec d'autres vignes présentant les mêmes caractéristiques. En fonction d'une classification réalisée à partir d'images acquises peu avant la véraison, la cave coopérative a ainsi pu constituer des cuves correspondant aux différentes qualités. Les vinifications séparées montrent que les vins issus de parcelles homogènes à vigueur modérée donnent des vins à volume en bouche élevé, arômes fruités et confiturés, et présentant une structure tannique souple, alors que les parcelles hétérogènes donnent des vins avec des arômes plus frais et plus végétaux, et des tannins plus grossiers. Ces différences sont constantes au fil des années. Cette méthode de sélection est utilisée sur 50 % des carignans de la cave, sur des parcelles que les techniciens n'ont pas le temps de visiter.

MOTS CLES :

Télédétection, imagerie satellitaire, sélection parcellaire, qualité de vin, variabilité intra parcellaire

ABSTRACT

Remote sensing, using Near Infra Red wavelength, can characterize within-vineyard variability using vegetation index. Between 2007 and 2009, a study was led on the vineyards of a cooperative winery, in Fitou area (France) aiming at characterizing vineyard oenological potential. A vegetation index, green leaf cover, developed on crops (wheat, rice, corn...) was implemented on vineyards.

In a first stage, it was proved that the use of 2m/pixel resolution gave the same precision of field variability mapping than a 0,50 m/pixel resolution, which made possible the use of satellite datas, covering a 57 600 or 302 500 ha zone (respectively 24 km x 24 km or 55 km x 55km). Then a heterogeneity index, adapted from Pringle's opportunity could be calculated for each vine, which can be characterized by an average leaf cover index (a "vigor" index), and an heterogeneity index. Detection of high levels of bare soil in a vine can also be identified automatically.

Based on these indexes, each vine can be characterized and gathered with other vines with the same characteristics (homogeneous vines with either low or high vigour, heterogeneous vines, abnormal vines with excessive bare soil...). According to such a classification realized just before veraison, the winery could select bins corresponding to each quality of vines. Separate vinifications proved sensorial differences on wines: homogeneous vines would give wines with intense jammy and spicy flavours, interesting body in mouth, and smooth tannins, whereas heterogeneous vines tended to produce wines with more red fruit and grassy aromas, and coarser tannins. These differences are consistent from year to year. This selection method is used on 50 % of carignan vines by the winery, which cannot be visited by its technical staff.

KEY-WORDS

Remote sensing, satellite imagery, vine selection, wine quality, within-vineyard variability.

INTRODUCTION

L'utilisation d'images aériennes ou satellitaires multi-spectrales permet d'établir des indices de végétation et ainsi de cartographier la variabilité intra parcellaire (HALL *et al.*, 2002, TISSEYRE *et al.*, 2007). Appliquée au vignoble, la télédétection permet d'estimer la surface foliaire (JOHNSON *et al.*, 2003 ;ROUSSEAU *et al.*, 2008), et ainsi d'établir indirectement une cartographie de l'état hydrique de la vigne (ACEVEDO *et al.*, 2007), et également d'évaluer la variabilité du potentiel phénolique des vignes (LAMB *et al.*, 2004, ROUSSEAU *et al.*, 2008) ou du rendement (ROUSSEAU *et al.*, 2008)

Le programme de recherche XSTAR (COQUIL et POILVE, 2001) a permis de développer des paramètres biophysiques de végétation à partir du traitement des données radiométriques des images satellitaires en utilisant différents modèles :

- un modèle de transfert radiatif foliaire : PROSPECT (JACQUEMOND et BARET, 1990 ; FERET *et al.*, 2008) ;
- un modèle de transfert radiatif du couvert végétal : SAIL (VERHOEF, 1984) ;
- un modèle de correction des effets atmosphériques : LOWTRAN (KNEIZYS *et al.*, 1988)
- une modélisation de la réponse spectrale du sol ;
- une caractérisation spectrale de la mesure du capteur utilisé.

L'inversion du couplage de ces modèles permet de définir des paramètres biophysiques (GLCV = fraction de couvert végétal) grâce à un logiciel dédié, OVERLAND (Infoterra France, SAS, 2005). Ces paramètres sont suffisamment robustes et reproductibles pour

permettre la caractérisation absolue d'une parcelle, et ainsi, la spatialisation de conseils agronomiques (BLONDLOT et al, 2005). Ces travaux ont permis de développer un outil d'aide à la décision en grandes cultures, FARMSTAR, opérationnel depuis 2002 et traitant plus de 400 000 ha en France (COQUIL et BORDES, 2005. DOUCHE *et al* ; 2008).

Pringle et al (2003) ont proposé un indice d'opportunité O_i permettant de caractériser la variabilité intra-parcellaire à partir de mesures spatialisées de rendement. Cette indice permet de prendre en compte les composantes suivantes :

- L'amplitude de variation de la valeur mesurée,
- La structure spatiale de cette variation,
- La surface minimale qu'une machine est capable de gérer.

Le calcul de cet indice d'opportunité, faisant appel à la réalisation de variogrammes, ne peut être automatisé. Son utilisation pour des applications commerciales reste donc limitée à un nombre réduit de parcelles à traiter.

Un indice d'opportunité de zonage (ZOI), basé sur une méthode de segmentation d'image par ligne de partage des eaux a été mis au point récemment, et permet de définir l'opportunité de zoner une parcelle en fonction du nombre de zones envisagées et de leur surface minimum (Roudier *et al* 2007, Roudier, 2008). Cet indice permet de réaliser une analyse spatiale des parcelles, et de caractériser automatiquement son degré d'homogénéité.

L'Objectif de cet article est de montrer l'intérêt que présente la télédétection satellitaire ainsi que les méthodes de caractérisation du couvert végétal et de la variabilité spatiale qui en résultent, pour améliorer la gestion de apports de vendange à l'échelle d'une coopérative. Dans un premier temps, cet article s'intéressera à la résolution des images satellites (qui est moins élevée que dans le cas d'images aériennes). Dans un deuxième temps il présentera les résultats obtenus à l'échelle commerciale d'une coopérative.

MATERIELS ET METHODES

1. Détermination de la résolution optimale pour la cartographie du vignoble.

En 2007, des images multispectrales (rouge, vert, bleu et proche infra rouge) ont été acquises à une résolution de 0,5 m/pixel par l'Avion Jaune (Montpellier) sur le site de l'Unité Expérimentale INRA de Pech Rouge à Gruissan (11, France) les 12/06, 12/07, 30/07 et 27/08. Sur 11 parcelles, des cartes d'indice de végétation ont été établies, puis dégradées à 1, 2, 5 et 8 m/pixel. La structure spatiale de la variabilité intra-parcellaire a ensuite été comparée.

2. Caractérisation parcellaire à l'échelle d'une cave coopérative

A partir d'images multispectrales satellitaires Formosat-2 acquises 10 à 20 jours avant véraison, une cartographie de chaque parcelle a été réalisée grâce à Overland sur Merlots et Carignans, soit un total de 1100 parcelles réparties sur un secteur de 24 x 24 km. Pour chaque parcelle, la valeur moyenne de GLCV et le ZOI ont été calculés.

Un algorithme décisionnel a permis d'isoler des parcelles « atypiques » :

- parcelles dont les contours sont mal définis (par exemple, le contour de la parcelle englobe une partie de bois, de sol nu ou enherbé, parcelle arrachée...),
- plantiers dont la végétation n'est pas encore bien développée,
- parcelles ayant un nombre de ceps manquants élevés,
- parcelles excessivement vigoureuses ou excessivement faibles,

Le regroupement de parcelles restantes est réalisé grâce à une méthode de classification non supervisée, la méthode des K-means (SAPORTA, 1990), à partir des deux indices : GLCV et ZOI. Cette méthode permet de regrouper les parcelles selon leur degré de ressemblance.

Lors des vendanges, les parcelles sont orientées dans des cuves séparées par lot à la réception à la cave coopérative.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Utilisation de l'imagerie satellitaire pour les sélections parcelaires

Les tests de dégradations d'image à forte résolution (0,5 m/pixel) montrent une très bonne cohérence des motifs spatiaux entre les résolutions 1 et 2 m/pixel. La diminution de la résolution entraîne une réduction de la pixelisation de l'image qui facilite la visualisation des zones à l'intérieur de la parcelle. Sur des vignes larges (inter-rangs de 2,25 à 2,5 m), la visualisation des rangs disparaît à partir de 2m/pixel.

La structuration spatiale de la variabilité intraparcellaire n'est pas modifiée entre 0,5 et 2 m/pixel. A 5 m/pixel, certains détails sont atténués, et des changements mineurs apparaissent dans la structuration spatiale (figure 1)

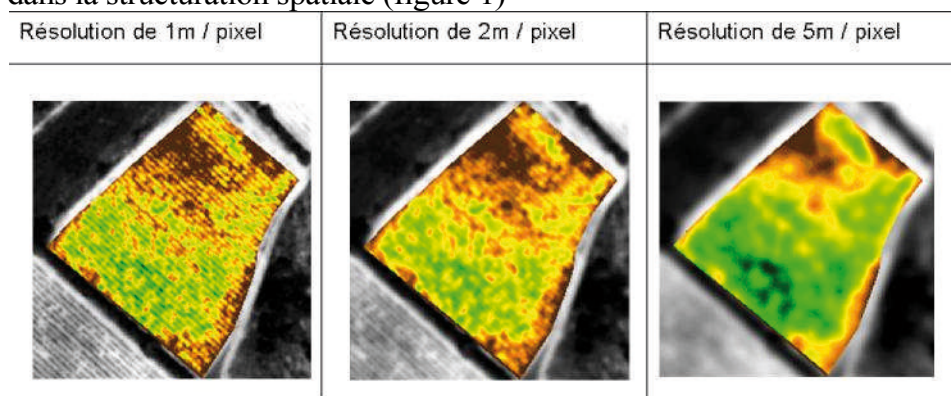


Figure 1 : incidence de la résolution sur la structure spatiale de la fraction de couvert végétal (GLCV)

Ces résultats montrent que des images avec une résolution de 2m/pixel sont suffisantes pour mettre en évidence la variabilité intra-parcellaire sur vigne. Ainsi les images satellitaires comme 5, Formosat-2 ou Kompsat peuvent être utilisées en améliorant la résolution grâce à des méthodes de pan-sharpening. Les comparaisons réalisées en 2007 entre des images aériennes Avion Jaune, et des images satellitaires Formosat-2 ou Kompsat traitées confirment l'équivalence des cartes obtenues (résultats non présentés).

2. Bilan des sélections de Merlot (2007)

2.1. Organisation des apports en cave

En 2007, la sélection a été organisée sur 23 ha de Merlot (35 parcelles) classés en deux lots

- lot 1 : parcelles homogènes
- lot 2 : parcelles hétérogènes

Deux cuves de 200 hl ont été remplies, chacune avec un lot de raisin, et vinifiées exactement de la même façon.

Tableau 1 : Composition des apports pour chaque cuve de Merlot en 2007

LOT1 03/09/2007 TH08-030907			LOT2 03/09/2008 TH19-030907		
CODEVIGNE	POIDS APPORT KG	DEGRE APPORT	CODEVIGNE	POIDS APPORT KG	DEGRE APPORT
5785027	3621	14,1	1260022	3875	13
5785027	1454	14,3	1260022	2532	13
17063	5268	14,7	4315028	580	15,1
17063	4404	14,6	5850001	1749	14,7
5065012	1400	14,7	3250003	4149	14,7
5850031	3529	13,5	6530001	1240	14,1
17039	3814	14,3	6530001	1380	13,7
17039	3814	14,3	6915037	1280	14,3
somme et moyenne	23489	14,3	somme et moyenne	16786	13,9

2.2. Composition des cuves

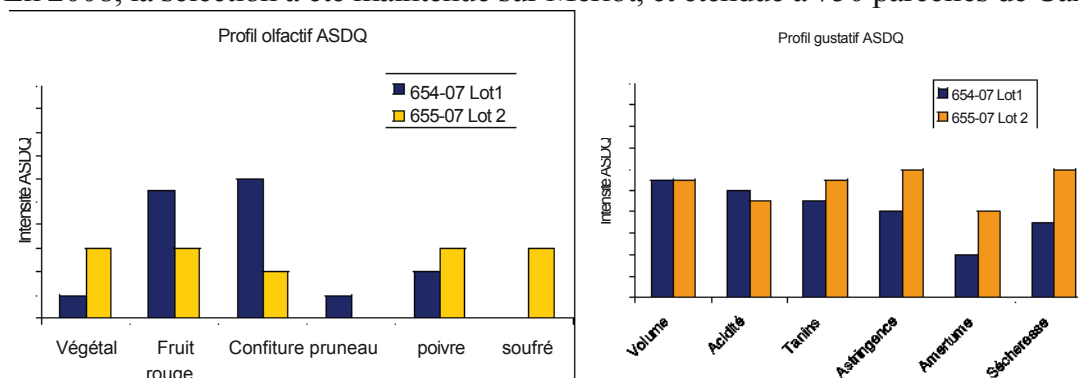
Tableau 1, les mesures de degré potentiel au réfractomètre à la réception en cave sur Merlot en 2007 ont montré une plus grande homogénéité du niveau de maturité de chaque apport sur les cuves de lot 1 (parcelles homogènes). A l'inverse, le lot 2 (parcelles hétérogènes) met en évidence une grande hétérogénéité du niveau de maturité de chaque apport.

2.3. Qualité des vins

L'analyse sensorielle descriptive quantifiée (ASDQ) par le jury recherche-développement de l'ICV montre des différences significatives entre les vins du lot 1 et du lot 2 (fig. 2). En vinification traditionnelle, le vin issu du lot 1 se distingue par un fruité plus mûr, confituré et des notes végétales moins marquées ce qui lui confère un profil olfactif plus doux et plus mûr. La bouche est plus volumineuse et la structure tannique est plus intense, avec plus d'astringence. Avec exactement le même process de vinification, les raisins de lot 2 donnent un vin dont le fruit est moins intense et plus frais (notes fruit rouge et amylique dominantes) avec des notes végétales plus marquées. La structure tannique plus desséchante et la fraîcheur renforcent la sensation fruitée. Les mêmes raisins, vinifiés en flash détente donnent un vin dont le profil est plus mûr (notes confiturées, pruneau) mais qui conserve une belle fraîcheur en bouche. La flash détente a également augmenté le volume en bouche.

Figure 2 : Profils sensoriels ASDQ des sélections de Merlot en 2007

En 2008, la sélection a été maintenue sur Merlot, et étendue à 750 parcelles de Carignans et



de Grenaches (soit 300 ha), classés en 2 lots :

- lot 1 : parcelles homogènes (ZOI faible) et de vigueur moyenne (GLCV moyen)
- lot 2 : parcelles hétérogènes (ZOI élevé) et de vigueur moyenne (GLCV moyen)

Le lot 3, composé de parcelles intermédiaires, a été défini dans un but logistique. Ce groupe de parcelles permet à la cave de compléter une cuve de lot 1 ou de lot 2, le cas échéant.

Les apports de raisins ont été déclenchés à partir des contrôles maturité. A la réception, les apports étaient orientés dans des cuves différentes en fonction de leur classement. C'est ainsi qu'en 2008 pour les Grenaches et Carignans, 5 cuves de 15 à 30 t de lot 1 et 16 cuves de 20 à 40 t de lot 2 ont été vinifiées séparément, chacune étant composée à plus de 90% de raisin du même lot.

Le lot 1 et quelques cuves du lot 2 ont été vinifiés classiquement. Les œnologues de la cave ont jugé la qualité des raisins du lot 2 différente du lot 1 et ont orienté une partie de ce lot 2 vers un process de thermovinification. Une majorité des cuves de lot 2 ont suivi ce process.

CONCLUSION

L'acquisition et le traitement d'images satellitaires multi-spectrales permettent d'estimer et de cartographier l'expression végétative des parcelles de vignes à travers des indices de végétation comme le GLCV. Il s'agit d'une information pertinente puisqu'elle met en évidence le niveau moyen d'expression végétative d'une parcelle (pour un cépage et un mode de conduite donné) et surtout la variabilité spatiale observée au sein de chaque parcelle.

Obtenue au moment de l'arrêt de croissance de la vigne, plusieurs semaines avant les vendanges, cette information précoce et exhaustive sur l'ensemble des parcelles d'une cave permet d'envisager différentes applications au vignoble.

L'organisation des vendanges à l'échelle d'une cave coopérative peut être programmée en s'appuyant sur cette information en complément des méthodes de sélection parcellaire classiquement utilisées. De plus, les caves dont la taille du vignoble ne permet pas une visite de l'ensemble des parcelles bénéficient d'une caractérisation de toutes leurs parcelles. Un regroupement de parcelles défini à partir de cette information constitue un outil d'aide à la décision pertinent pour segmenter les profils de vins et adapter le process de vinification à la qualité des raisins. Cela permet aussi d'orienter les observations dans les parcelles (contrôle maturité, rendement...).

Cette technique ouvre des pistes intéressantes pour la valorisation des terroirs : caractérisation objective du potentiel qualitatif, identification des parcelles présentant une forte hétérogénéité, cartographie des principales variations à l'intérieur d'une parcelle.

Remerciements

Ce programme de recherche a pu être réalisé grâce au concours de la Région Languedoc-Roussillon, de l'Union Européenne (FEDER) et de l'Etat (FUI, OSEO), avec l'appui du pôle de compétitivité Q@LI-MEDiterranée, dans le cadre du programme de recherche collaborative VINNOTECH.

Bibliographie

Acevedo-Opazo C., Tisseyre B., Guillaume S. & Ojeda H., 2007. Test of NDVI information for a relevant vineyard zoning related to vine water status. In: Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture, ed. J. V. Stafford, Wageningen Academic Press, The Netherlands, p. 547-554.

Blondlot A., Gate P. & Poilvé H., 2005. Providing operational nitrogen recommendations to farmers using satellite imagery. In Stafford J., editor. *Precision Agriculture '05: Proceedings*

of the 5th European Conference on Precision Agriculture, p 345-352. Uppsala, Sweden. Wageningen Academic Publishers.

Coquil B., Bordes J., 2005. FARMSTAR : an efficient decision support tool for near real time crop management from satellite images. In Stafford J., editor. *Precision Agriculture '05: Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*, p 873-880. Uppsala, Sweden. Wageningen Academic Publishers.

Coquil B., Poilve H (2001). Value added remote sensing information products for precision farming. In Blackmore S. and Grenier G., editors, *Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture*, p 181-186. Montpellier, France. Supagro Montpellier
Dobrowski S.Z., Ustin S.L. & Wolpert J.A., 2003. Grapewine dormant pruning weight prediction using remotely sensed data. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **9**, 177-182.

Douche H., Roudier P., Houdry P. & Blondlot A., 2008. Farmstar : an operational remote sensing service for precision agriculture. In *Proceedings of the 9th International Conference on Precision Agriculture*, Denver, USA.

Feret J-B., François C., Asner G., Martin R., Bidel L., Ustin S., Le Maire G. and Jacquemoud S., 2008. PROSPECT-4 and 5 : Advances in the leaf optical properties model separating photosynthetic pigments. *Remote Sensing of Environment*, 112(6) :3030-3043.

Hall A., Lamb D., Holzapfel B. & Louis J., 2002. Optical remote sensing applications in viticulture – a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **8**, 36-47.

Jacquemoud S., Baret F. (1990). PROSPECT: a model of leaf optical properties spectra. *Remote Sensing of Environment*, 34(2) :75-91

Johnson L.F., Roczen D.E., Youkhana S.K., Nemani R.R. & Bosch D.F., 2003. Mapping vineyard leaf area with multi-spectral satellite imagery. *Computers and Electronics in Agriculture* **38**, 33-44.

Johnson L., & Scholasch T., 2005. Remote sensing of shaded area in vineyards. *Horttechnology* **15** (4), 859-863

Kneizys F., Shettle E. P., Abreu L. W., Chetwynd J. H., Anderson G. P., Gallery W. O., Selby J. E. A., and Clough S.A., 1988. Users guide to LOWTRAN 7. Environmental Research Papers 1010, Airforce Geophysics Laboratory, Hanscom AFB, Massachusetts, UAS. AFGL-TR-88-0177.

Lamb D., Hall A., Louis J-P., 2001. Airborne/spaceborne remote sensing for the grape and wine industry. In: 5th National Conference on Geospatial Information & Agriculture, Incorporating Precision Agriculture in Australasia, Sydney, p. 600-608.

Lamb D.W., Weedon M.M. & Bramley R.G.V., 2004. Using remote sensing to predict grape phenolics and colour harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: timing observations against vine phenology and optimising image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **10**, 46-54.

Pringle M. J., Mcbratney A. B., Whelan B. M., and Taylor J. A., 2003. A preliminary approach to assessing the opportunity for site-specific crop management in a field, using yield monitor data, *Agricultural Systems*, 76, 273-292.

Roudier P., 2008. Zonage intra-parcellaire guide par des contraintes opérationnelles. Thèse. Supagro Montpellier.

Roudier P., Tisseyre B., Poilvé H. & Roger J., 2007. Management zone delineation based on remotely-sensed data. In Stafford J. editor, *Precision Agriculture '07: Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture*, p. 625-632. Skiathos, Greece. Wageningen Academic Publishers, Netherlands.

- Rousseau J., Dupin S., Acevedo-Opazo C., Tisseyre B. & Ojeda H., 2008. L'imagerie aérienne : application à la caractérisation des potentiels viticoles et œnologiques. *Bulletin de l'Organisation Internationale de la Vigne et du Vin* **81**, 507-517.
- Saporta G., 1990. Probabilités, analyse des données et statistiques, *Ed. Technip, Paris*, 493 p
- Tisseyre B., Ojeda H. & Taylor J., 2007. New technologies and methodologies for site-specific viticulture. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* **41** (2), 63-76.
- Verhoef W., 1984. Light scattering by leaf layers with applications to canopy reflectance modeling : the SAIL model. *Remote Sensing of Environment*, 16(2) :125-141.