



http://www.oeno.tm.fr/extraits/wod/clst/2571x11072n11157_vRub/2571x11072x11127x11128x11157.html

Cartographier la variabilité intra-parcellaire de paramètres foliaires d'un vignoble

C. Milhade⁽¹⁾, M. Le Moigne⁽¹⁾, E.M. Fadaili⁽¹⁾, N. Ben Ghazlen⁽¹⁾, Z.G. Cerovic⁽²⁾.

⁽¹⁾ Ingénieurs Service Applications R&D - Force-A - Université Paris Sud - Bâtiment 503 - Orsay - France

⁽²⁾ Equipe Biospectroscopie Végétale (CNRS) Département Ecophysiologie Végétale – Laboratoire Ecologie Systématique Evolution UMR 8079 – Université Paris Sud – Orsay – France

Auteur référant : Charlotte Milhade, Ingénieur agronome Service Applications R&D - Force-A - Université Paris Sud - Bâtiment 503 - Orsay - France

charlotte.milhade@force-a.fr

Résumé

L'usage de nouveaux capteurs optiques en viticulture permet la visualisation de la variabilité intra-parcellaire sous la forme de cartographie du vignoble. Ces capteurs, couplés à des systèmes GPS, réalisent l'acquisition de différents paramètres agronomiques géoréférencés sur feuilles et sur grappes. Ces différents paramètres sont par la suite cartographiés à l'aide de SIG. Cet article traite d'un exemple de nouveau capteur en proxi-détection, acquisition à faible distance, le Multiplex[®], embarqué sur engin viticole en travail combiné. Durant la période végétative, il assure l'acquisition simultanée de quatre paramètres du feuillage : la densité foliaire, la teneur en chlorophylle, la teneur en flavonols et le statut azoté de la vigne. Les différentes applications en viticulture des quatre cartographies obtenues, ainsi que l'étude d'une parcelle cartographiée dans le Bordelais en 2012 sont présentées dans cet article.

Abstract

The use of new proximal optical sensors for vineyards mapping can reveal plot spatial heterogeneity. These sensors linked to a GPS, allow the collection of geo-referenced observations of several agronomical variables on leaves and grapes. Obtained variables can then be presented on maps with GIS softwares. The present report deals with a new proximal sensor, the Multiplex[®], mounted on farm vehicles that are performing standard cultural practices in the vineyard at the same time. Four vine characteristics are simultaneously acquired during the vegetative season: leaf density, leaf chlorophyll content, leaf flavonol content and the nitrogen nutrition status (Nitrogen Balance Index). Various potential viticultural applications based on the maps of these vine variables are presented in this report, as well as a study of maps acquired on a plot in Bordeaux in 2012.

Introduction

La variabilité intra-parcellaire est un phénomène connu des professionnels mais souvent sous-estimée. Elle peut avoir des répercussions sur l'efficacité d'un traitement, d'une opération culturale ou sur la qualité et le rendement d'une parcelle. Une bonne gestion de la variabilité parcellaire contribue à améliorer la qualité finale du vin ou à optimiser son profil sensoriel, afin de mieux répondre aux attentes des consommateurs.

Cette connaissance de l'hétérogénéité spatiale assure une meilleure gestion des itinéraires techniques pour les viticulteurs, ou des sélections à vendange notamment pour les caves qui gèrent de très grandes surfaces.

1) Des capteurs optiques en viticulture de précision au service de la caractérisation spatiale

L'apparition récente de capteurs optiques issus de la viticulture de précision facilite la caractérisation de la variabilité spatiale d'un vignoble. Couplés à des systèmes GPS (Global Positioning System), l'acquisition des données géoréférencées est représentée spatialement sous forme de cartographie. Il existe deux grandes familles de capteurs qui se différencient par leur distance de mesure par rapport à la vigne : la télédétection, qui permet l'acquisition à grande distance, et la proxi-détection, à faible distance de la vigne.

Les capteurs en télédétection mesurent les ondes électromagnétiques émises ou réfléchies par la vigne à grande distance. A partir d'images de réflectance de la végétation dans le vert, le rouge et le proche-infrarouge, la télédétection fournit des indices de végétation comme le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Rouse et al., 1974). La collecte de données est réalisée par des capteurs embarqués sur des avions, des satellites ou récemment des drones. Cette technique offre la possibilité d'avoir une vision globale de la variabilité spatiale, sans intervention au vignoble, sur le plan horizontal. Elle peut donc concerner des zones très étendues comme un bassin versant, une coopérative, mais aussi bien un domaine ou une seule parcelle. Cependant, le traitement de l'imagerie en viticulture constitue un réel défi pour la télédétection. En effet à grandes distances, la faible résolution d'image ne permet pas de distinguer la discontinuité du couvert végétal pour de faibles inter-rangs, ou dans le cas d'un enherbement présent. Actuellement, il existe pratiquement dans tous les pays viticoles des sociétés qui proposent des images aériennes : Specterra (Australie, Espagne, Chili et France via Vitivista), Oenoview (ICV, France), Terra Space (Californie), Agrosat (Chili) et Geosys-Verdtech (Espagne).

Par opposition à la télédétection, la proxi-détection s'appuie sur des capteurs piéton et embarqué sur machines (le Multiplex[®], le GreenSeeker[®], le Crop Circle[®], le Dualex[®], le N-tester[®]...) qui mesurent au contact ou à faible distance de la végétation des valeurs de paramètres en continu. L'avantage principal de la proxi-détection est d'apporter une meilleure précision et résolution spatiale sur la face verticale du plan de palissage de la vigne. Ces capteurs utilisent principalement des techniques de réflectance et de fluorescence des végétaux.

2) Cas d'un capteur proximal multiparamétrique : le Multiplex[®]

Le capteur optique Multiplex[®], développé et commercialisé par la société FORCE-A, utilise la propriété de fluorescence chlorophyllienne des végétaux afin de réaliser en temps réel des mesures non destructives sur fruits et sur feuilles. En mode piéton ou embarqué sur engin viticole, ce capteur multiparamétrique détermine :

- la teneur en anthocyanes des raisins (Cerovic et al., 2008 ; Ben Ghozlen et al., 2010),
- la densité foliaire (Debuisson et al., 2010),
- la teneur en chlorophylle des feuilles (indice SFR) (Bellow et al., 2013),
- la teneur en flavonols des feuilles (indice FLAV) (Agati et al., 2008 ; Bellow et al., 2013),
- le rapport de la teneur en chlorophylle sur la teneur en flavonols des feuilles en tant qu'indicateur du statut azoté de la plante (indice NBI) (Cerovic et al., 2009 ; Garcia et al., 2012).

Mis à la disposition du viticulteur durant la phase végétative, il est embarqué sur enjambeur, quad ou tracteur en travail combiné (traitement phytosanitaire, travail du sol...) ou en utilisation exclusive. En une journée, il est alors possible d'acquérir des données sur des surfaces allant jusqu'à 18 hectares de vigne.

Une fois embarqué, cet outil est associé à un dGPS (GPS différentiel) d'une précision submétrique ainsi qu'à un boîtier d'alimentation et d'enregistrement des données, la FA-BOX. Il effectue alors l'acquisition simultanément des quatre paramètres foliaires de la vigne.

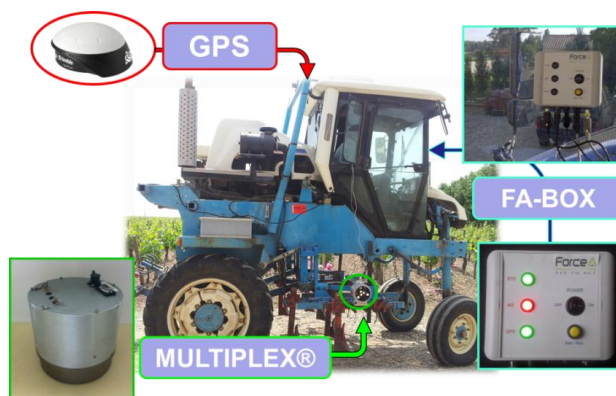


Photo 1 : Exemple de montage du kit embarquement Multiplex® sur un enjambeur pour cartographier le feuillage d'une parcelle de vigne

Les cartographies de chaque paramètre mesuré sont réalisées automatiquement par un logiciel de SIG (Système d'Information Géographique) développé par FORCE-A. Ces cartes disponibles sur le compte client de la plateforme web de la société, peuvent être visualisées sur un smartphone ou une tablette tactile, directement à la parcelle.

A l'issue de la génération des cartes, un zonage (en 2 ou 3 zones) est également réalisé. Ces nouvelles cartes informent le viticulteur de l'existence de zones homogènes significativement différentes entre elles. Ces zones assurent au viticulteur une optimisation de la gestion de ses itinéraires techniques et/ou la mise en place de vendanges sélectives.

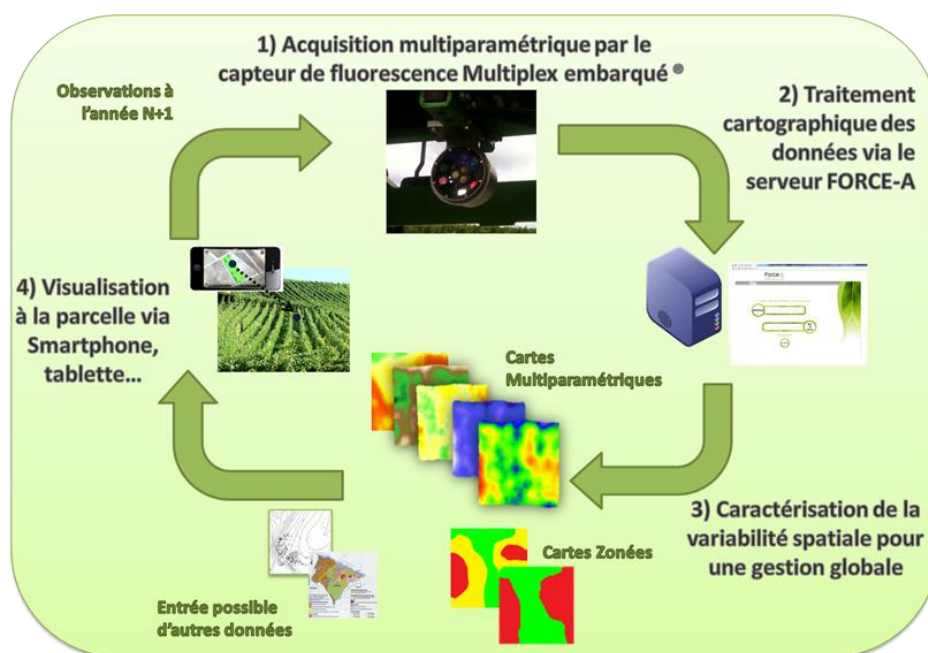


Figure 1 : Schéma des étapes de cartographie d'un vignoble avec le Multiplex® embarqué

3) Quelles sont les applications possibles de ces cartographies en viticulture ?

Les cartes obtenues fournissent au viticulteur une vision globale de la structuration spatiale de sa parcelle, au travers des quatre paramètres agronomiques mesurés sur le feuillage. Cependant, certains facteurs influencent ces paramètres : le cépage, le sol (texture, eau et nutriments), l'année de plantation, les maladies ainsi que le précédent cultural. Ils sont à prendre en compte dans la lecture de ces cartes afin de diagnostiquer l'origine des variabilités intra-parcellaires observées pour ces paramètres. A l'issue de ce diagnostic, différentes applications sont possibles pour chaque carte :

- La carte de **densité foliaire** est un outil d'aide à la gestion des vendanges. Elle permet à la fois de localiser les zones pertinentes pour les contrôles de maturité et la dégustation des baies, mais aussi de réaliser des vendanges de raisins provenant de zones clairement identifiées. En effet, le potentiel œnologique optimal de la vendange est conditionné par l'équilibre entre le développement végétatif et le développement reproductif. Une trop forte ou trop faible densité foliaire apparaît préjudiciable quant à la qualité finale du raisin.

Cette carte sert également à identifier spécifiquement des zones de forte végétation. Celles-ci sont à surveiller, à maîtriser et à protéger afin de limiter le risque de développement de foyers de maladies. Enfin, dans le cas d'une replantation ou d'une restructuration de vignoble, cette carte s'avère utile pour localiser et délimiter clairement les zones de végétation chétives ou trop vigoureuses.

- La **chlorophylle** intervient dans la photosynthèse. Une teneur élevée dans les feuilles est associée à un bon fonctionnement de la vigne. La carte de teneur en chlorophylle évalue l'état de santé de la vigne. L'existence de spots de très faibles teneurs en chlorophylle permet d'identifier des zones de déficience chlorophyllienne, comme par exemple une chlorose.

Par ailleurs, pour une vigne saine, de plants de même âge et de même porte-greffe, une variation au sein d'une même parcelle de la teneur en chlorophylle est principalement associée à une modification du type de sol. Ainsi, la carte de chlorophylle facilite l'identification de zones pertinentes pour creuser des fosses ou des sondages à la tarière lors de la réalisation d'une carte des sols d'un vignoble.

- Lorsque la vigne est en fonctionnement optimal, elle réalise son métabolisme primaire et synthétise des protéines (des molécules azotées) contenant notamment de la chlorophylle, et peu de flavonols (composés carbonés). En revanche, en cas de surplus d'ensoleillement, de faible apport nutritionnel ou hydrique, la vigne oriente son métabolisme primaire vers le métabolisme secondaire : elle produit alors des polyphénols dont les **flavonols**. Cette carte sert à identifier les zones de stress modéré de la vigne, optimum pour la qualité du raisin.

La synthèse de flavonols est également très importante pour la protection face aux agresseurs et maladies. En fonction des conditions météorologiques, cette carte permet de visualiser les zones plus ou moins sensibles aux maladies (Agati et al., 2008 ; Latouche et al., 2012) et dans lesquelles des foyers de maladies pourraient potentiellement se développer au cours du cycle végétatif.

- Enfin, la carte du **statut azoté** est un outil d'aide à la gestion de la vigueur de la vigne par modulation de la fertilisation, de la pulvérisation foliaire, de l'enherbement ou encore des travaux en vert. La pulvérisation foliaire est un itinéraire technique de plus en plus utilisé pour favoriser la synthèse de précurseurs aromatiques S-conjugués à la cystéine, les thiols, chez quelques cépages comme le Sauvignon blanc (Choné et al., 2006). En fin de cycle végétatif, le statut azoté de la vigne est également une estimation précoce de l'azote assimilable des moûts à vendange, sauf en cas de contraintes météorologiques extrêmes entre véraison et vendanges.

4) Cas pratique d'une parcelle dans le Bordelais en 2012

Dans cet exemple (figure 2), le capteur est embarqué sur enjambeur à fermeture de la grappe, sur une parcelle de Merlot à Bordeaux. Les quatre cartes sont issues d'une seule et même acquisition.

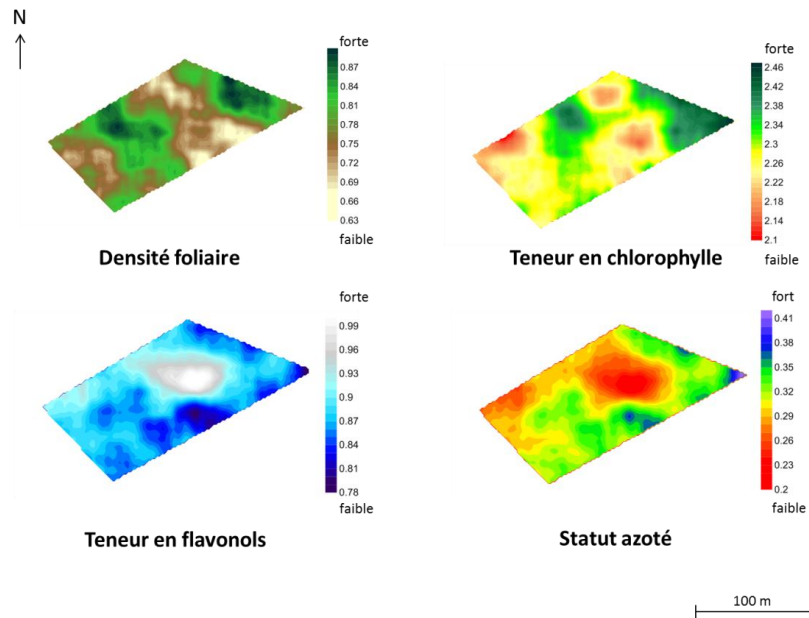


Figure 2 : Les 4 cartographies Multiplex® d'une parcelle de Merlot dans le Bordelais

La première carte introduit l'existence d'une variabilité intra-parcellaire de la densité foliaire, une segmentation se dessine suivant le sens des rangs (Nord-Ouest/ Sud-Est). A vendange, les zones de forte densité foliaire ont présenté un retard de maturité. Cette parcelle présentant un fort potentiel qualitatif, les deux zones sont vendangées à deux dates différentes afin d'obtenir l'optimum de maturité. Alternativement, la zone de forte densité foliaire aurait aussi pu être vendangée au même moment que celle de faible densité et vinifiée à part pour l'élaboration d'un second vin, en raison d'une météo défavorable.

La carte de chlorophylle témoigne de l'existence de 3 spots de déficience chlorophyllienne. Il s'est avéré par une expertise précise que les deux spots à l'est de la parcelle sont des zones de chlorose ferrique. Une meilleure combinaison porte-greffe/greffon a été reconsidérée.

Pour la teneur en flavonols, une zone de forte concentration est présente au milieu de la parcelle. Cette forte teneur fait suite à l'existence de différents stress (nutritionnel, lumineux ou hydrique). Lorsqu'on compare cette carte à celle du statut azoté, les deux cartes sont très similaires : le principal stress que subit la vigne de cette parcelle est un stress a priori azoté. Une préconisation d'apport ou de réduction d'azote pourrait être envisagée avec le viticulteur en fonction de son rendement et de sa qualité de vendange.

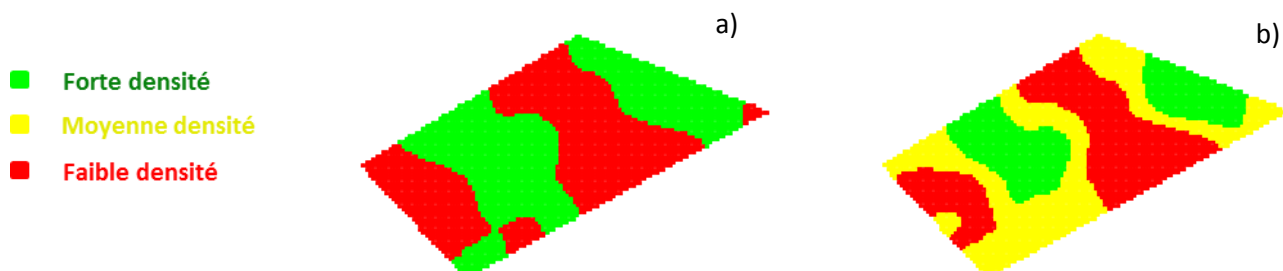


Figure 3 : Cartes de la densité foliaire en deux a) et trois zones b)

Le zonage permet de rendre l'information plus opérationnelle, il établit l'existence ou non de zones significativement différentes.

Pour cet exemple (*figure 3*), la carte a), deux zones de la densité foliaire, a permis de réaliser des vendanges sélectives : les zones rouges ont été vendangées plus précocement que les zones vertes.

Conclusion

La cartographie de paramètres agronomiques des feuilles ou des grappes offre à la filière viticole une nouvelle vision du comportement annuel de la vigne. En couplant ces cartes à l'expertise du viticulteur ou d'un consultant, les perspectives d'applications sont nombreuses et variées : de la sélection intra-parcellaire à l'aide à la gestion agronomique des parcelles.

En intégrant d'autres cartes ou données propres au viticulteur (carte des sols, carte de résistivité apparente du sol, carte de poids de bois de taille ou carte des anthocyanes des grappes...), il est possible de créer un zonage multicritère par un modèle statistique, qui permet d'estimer la qualité potentielle de lots de raisins issus des différentes zones du parcellaire. Enfin, en matière de traçabilité et d'historique du vignoble, cette toute nouvelle base de données cartographiques offre un suivi annuel et interannuel du vignoble au viticulteur ou aux futurs exploitants.

FORCE-A

Centre Universitaire Paris Sud – Bâtiment 503

91893 Orsay Cedex, France

Tél : + 33 1 69 35 88 62

Contact technique : charlotte.milhade@force-a.fr

Contact commercial : julien.tessier@force-a.fr

Portable : 06 59 91 33 63

www.force-a.com

Références

- Agati, G., Cerovic, Z.G., Dalla Marta, A., Di Stefano, V., Pinelli, P., Traversi, M.L. and Orlandini, S. (2008) Optically assessed preformed flavonoids and susceptibility of grapevine to *Plasmopara viticola* under different light regimes. *Functional Plant Biology* 35: 77-84.
- Bellow, s., Latouche, G., Brown, S.C., Poutaraud, A. and Cerovic, Z.G. (2013) Optical detection of downy mildew in grapevine leaves: daily kinetics of autofluorescence upon infection. *Journal of Experimental Botany* 64: 333-341.
- Ben Ghazlen, N., Cerovic, Z.G., Germain, C., Toutain, S. and Latouche, G. (2010) Non-destructive optical monitoring of grape maturation by proximal sensing. *Sensors* 10: 10040-10068.
- Cerovic, Z.G., Goutouly, J.-P., Hilbert, G., Destrac-Irvine, A., Martinon, V. and Moise, N. (2009) Mapping winegrape quality attributes using portable fluorescence-based sensors. In *FRUTIC 09*. Edited by Best, S. pp. 301-310. Progap INIA, Conception, Chile.
- Cerovic, Z.G., Moise, N., Agati, G., Latouche, G., Ben Ghazlen, N. and Meyer, S. (2008) New portable optical sensors for the assessment of winegrape phenolic maturity based on berry fluorescence. *Journal of Food Composition and Analysis* 21: 650-654.
- Choné, X., Lavigne-Cruège, V., Tominaga, T., Van Leeuwen, C., Castagnède, C., Saucier, C. and Dubourdieu, D. (2006) Effect of vine nitrogen status on grape aromatic potential: flavor precursors (s-cysteine conjugates), glutathione and phenolic content in *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc grape juice. *Journal International de la Science de la Vigne et du Vin* 40: 1-6.
- Debuisson, S., Germain, C., Garcia, O., Panigai, L., Moncomble, D., Le Moigne, M., Fadaili, E.M., Evain, S. and Cerovic, Z.G. (2010) Using Multiplex[®] and greenseeker[™] to manage spatial variation of vine vigor in Champagne. In *ICPA2010* pp. 1-21, Denver Co USA.
- Garcia, O., Debuisson, S., Morlet, M., Germain, C., Panigai, L., Le Moigne, M., Fadaili, E.M., Ben Ghazlen, N. and Cerovic, Z.G. (2012) Using Multiplex[®] to manage nitrogen variability in Champagne vineyards. In *ICPA2012* pp. 1-10, Indianapolis Mi USA.
- Latouche, G., Bellow, S., Poutaraud, A., Meyer, S. and Cerovic, Z.G. (2013) Influence of constitutive phenolic compounds on the response of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves to infection by *Plasmopara viticola*. *Planta* 237: 351-361.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Volume I: Technical Presentations. Freden, S.C, Mercanti, E.P., Becker, M.A. (Eds.). Washington, D.C.: NASA SP-351, pp. 309–317.