

**THE USE OF REMOTE SENSING FOR INTRA-BLOCK VINEYARD MANAGEMENT**  
**LES OUTILS DE TELEDETECTION AU SERVICE D'UNE GESTION INTRA-PARCELLAIRE**  
**D'UN VIGNOBLE**

**E. Marguerit**<sup>1</sup>, J.-P. Goutouly<sup>2</sup>, C. Azais<sup>1</sup>, S. Merino<sup>1</sup>, J.-P. Roby<sup>1</sup>, C. Van Leeuwen<sup>1</sup>

1 ENITA de Bordeaux-UMR Œnologie Ampélogie, 1 Crs du Général de Gaulle, BP 201, 33 175 Gradignan-cedex, France

2 INRA-UMR Œnologie Ampélogie, ECAV, 71, av. Edouard-Bourlaux, BP 81, 33 883 Villenave d'Ornon Cedex

Pour correspondance : e-marguerit@enitab.fr

**Remerciements:** Grants from CIVB ( Conseil Interprofessionnel des Vins de Bordeaux) and the Conseil Régional d'Aquitaine supported this work. We thank all the trainees for their excellent assistance.

**Mots clefs:** Vine, *Vitis vinifera* L., remote sensing, high resolution, intrablock management, vineyard leaf area, NDVI.

**Abstract**

In vineyard management, the technical work unit is now the block. However, considerable variability can exist inside a block with regard to vegetative growth and fruit composition at ripeness, because of soil heterogeneity. In this research, vine characteristics were measured on 96 plots of a block of 0,3 ha. Leaf area was two times greater on the plots with the highest vigour compared to the leaf area on the plots with the lowest vigour. Berry sugar content varied from 205 to 235 g/L. Optimised vineyard management should take in account this variability. Variations in soil (depth, texture) can be surveyed by soil sampling and mapped. They can also be assessed more rapidly and more precisely by geophysics, a technique based on variations in soil resistance to electric current. Vine behaviour can be measured by means of physiological indicators: N-tester for vine nitrogen status, leaf water potential and carbon isotope discrimination ( $\delta^{13}\text{C}$ ) for vine water status. To represent spatial variability of physiological parameters, repeated measurements are necessary on a great number of plots inside a block, making this approach very time and money consuming. Remote sensing can be considered as an interesting alternative way to map intra-block heterogeneity. In satellite pictures, one pixel represents more than one square meter on the soil. Because a vine row rarely exceeds 60 cm in width, these pixels contain both information from the vine canopy and from the soil, making them difficult to interpret. In high resolution remote sensing, pictures are taken at an altitude of approximately 300 meters. Pixels represent 100 to 200 square centimeters on the soil. Pixels containing only information from the canopy can thus be extracted from the picture. On these photographs, vine vigour can be characterised by transforming spectral data from the canopy into a vegetation index, for instance "NDVI" (Normalized Difference Vegetation Index). This approach was used in this study. Zones of variable vine vigour were identified inside a block. The high correlation between NDVI and vigour parameters demonstrates the possibility to map the vigour with the NDVI by means of high resolution remote sensing, and consequently to explain the variations of linked quality factors.

**Résumé**

L'unité de gestion technique d'un vignoble est aujourd'hui la parcelle. Néanmoins, au sein d'une même parcelle, la variabilité de l'expression végétative et de la constitution des raisins à maturité, peut être grande, en particulier à cause d'une hétérogénéité du sol. Dans une parcelle expérimentale, la surface foliaire a été deux fois plus élevée sur les placettes de forte vigueur par rapport à celles de faible vigueur. Le taux de sucres des baies a varié de 205 à 235 g/L. Cette variabilité devrait être prise en compte dans une gestion optimale du vignoble. Des images ont été obtenues par la télédétection à haute résolution, dont les pixels représentent 100 à 200 cm<sup>2</sup> de surface au sol. Des pixels contenant

seulement de l'information du feuillage ont alors pu être isolés de l'image. A partir des données spectrales contenues dans ces photos, un indice de végétation appelé « NDVI » (Normalized Difference Vegetation Index) peut être construit pour caractériser la vigueur de la vigne. Des zones de vigueur variable ont été identifiées au sein d'une parcelle. La similitude entre les cartes du NDVI et des variables d'expression de la vigueur, démontre la faisabilité de cartographier la vigueur à l'aide du NDVI obtenu par télédétection haute résolution, et ainsi permettre d'expliquer les variations de certains paramètres qualitatifs de la vendange qui en découlent.

## Introduction

Actuellement, l'unité de gestion technique au vignoble est la parcelle. Or, les observations menées au sein d'une même parcelle attestent d'une hétérogénéité de l'expression végétative et de la constitution des raisins à maturité. Cette variabilité intra-parcellaire peut être le résultat de différences de régimes hydrique ou azoté ou les deux, liées à des variations de types de sol, de la profondeur du sol ou de la topographie du vignoble (BRAMLEY 2001 ; HALL *et al.*, 2002).

Pour étudier la variabilité intra-parcellaire de la vigueur, la détermination de la surface foliaire constitue une entrée intéressante puisqu'elle reflète une partie importante de la biomasse produite au cours de l'année. Par ailleurs, elle peut être reliée à la maturation des raisins (WINKLER, 1958), aux maladies (WILDMAN *et al.*, 1983 ; ENGLISH *et al.*, 1989), au régime hydrique (SMART et COOMBE, 1983), au potentiel œnologique des raisins et à la qualité du vin, notamment à travers le rapport « feuille/fruit » (SMART 1985 ; JACKSON et LOMBARD, 1993 ; ILAND *et al.*, 1995). Mais les viticulteurs ne possèdent pas d'outils ou de méthodes efficaces pour cartographier cette surface foliaire et ainsi disposer d'une représentation fine de la vigueur de leurs parcelles. Bien qu'elles permettent d'obtenir des résultats précis, les méthodes actuelles de mesures de surfaces foliaires sont pour la plupart très consommatrices de temps ou destructrices (TREGOAT *et al.*, 2001). Ainsi, l'utilisation de la télédétection pour spatialiser la surface foliaire présente un enjeu important.

Par rapport à d'autres cultures, la conduite de la vigne présente des particularités qui compliquent l'utilisation de la télédétection : pieds individualisés, vigne conduite en rangs, avec ainsi la présence d'une fraction plus ou moins importante de sol sur les images. Le sol peut être nu ou couvert par différents types d'enherbement ; l'architecture de la canopée peut être très variée selon les modes de conduite. En dépit de ces difficultés, des études récentes, en Californie (JOHNSON *et al.*, 1996) et en Espagne (MONTERO *et al.*, 1999 ; LANJERI *et al.*, 2001) ont mis en évidence des relations linéaires significatives entre le NDVI et le développement de la vigne

Cette étude s'intéresse à la mise en œuvre de la télédétection pour de fortes densités de plantation. L'alternance rang-interrang nécessite dans ce cas une segmentation de l'information contenue dans les photos qui doit être d'autant plus grande pour de fortes densités de plantation. Ainsi, pour y parvenir, les photos doivent avoir une excellente résolution, de l'ordre 100 à 200 cm<sup>2</sup> au sol pour un pixel. Il s'agit alors de télédétection à haute résolution.

Dans un premier temps, la variabilité intra-parcellaire de différents paramètres viticoles a été quantifiée. Ensuite, les cartes de NDVI et celles de surface foliaire sont comparées. Les résultats sont discutés en vue d'une utilisation pratique de ces outils par les exploitations viticoles.

## Matériel et méthodes

Cette étude a été menée sur une parcelle de 25 ares de Merlot du vignoble expérimental de l'INRA de Bordeaux (Domaine de Couhins) en appellation Pessac-Leognan (France). La densité de plantation est de 6 250 pieds/ ha (1,6 m de distance entre les rangs, 1 m de distance entre les pieds sur le rang). Les souches ont été taillées en guyot double et palissées en monoplan vertical. La hauteur de végétation est de 1m 10. Deux types de sols sont présents sur la parcelle : une partie graveleuse et une autre d'argiles lourdes. Un dispositif expérimental de 96 placettes, régulièrement disposées au sein de la parcelle, a été mis en place. Chaque placette est composée de 3 souches consécutives sur un rang. De nombreuses variables sont suivies sur les 96 placettes de cette parcelle:

- la précocité des stades phénologiques,
- les poids des bois de taille, la surface foliaire, le rendement, l'alimentation minérale et le statut azoté de la vigne
- la contrainte hydrique à partir de potentiels foliaire de tige et du  $\delta^{13}\text{C}$  mesuré sur les sucres du moût à maturité.
- des contrôles de maturité : poids de 100 baies, taux de sucres, acidité totale, pH, acide malique, et teneur en anthocyanes.

Nous ne traiterons ici que des mesures de la surface foliaire et de la teneur en sucre du moût. La méthode choisie pour la détermination de la surface foliaire est la mesure des longueurs de rameaux. MABROUK et CARBONNEAU ont démontré en 1996 la corrélation entre la longueur d'un rameau et la surface foliaire portée par celui-ci. L'estimation de la surface foliaire par cette méthode est non destructive et permet de distinguer la surface foliaire primaire et secondaire. Cette technique est intéressante car elle allie une bonne précision et une rapidité d'exécution. Elle nécessite toutefois un étalonnage spécifique pour les rameaux primaires et pour les rameaux secondaires, en fonction du stade de développement de la vigne et du cépage (TREGOAT *et al.*, 2001).

Par ailleurs, cette parcelle est photographiée par voie aérienne à haute résolution. La réponse spectrale dans le rouge et le proche infra-rouge est extraite afin d'obtenir une spatialisation des valeurs du NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Le NDVI est un indice de végétation de ratio qui se calcule à partir du quotient de mesures dans différentes bandes spectrales.

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R}) \quad (\text{ROUSE } et \text{ al.}, 1974 \text{ in } (\text{TUCKER } 1979))$$

où R et PIR sont respectivement les valeurs de réflectance dans le rouge et le proche infra-rouge. L'intérêt d'un tel indice est qu'il atténue les effets impartis aux conditions variables d'éclairement énergétique (TUCKER, 1979 ; CHEN, 1996). Cet indice varie théoriquement entre -1,0 et +1,0. Un végétal en bonne santé présente une valeur de NDVI élevée car il réfléchit beaucoup plus de proche infra-rouge (60% du rayonnement incident) que du rouge (20 % du rayonnement incident).

Les prises de vue ont lieu avec un avion, à 300 m d'altitude, avec une focale de 50 mm, une ouverture de 5,6 et une vitesse de 1/3000<sup>e</sup>. Les photos sont faites avec un appareil photo reflex standard 24x 36 mm embarqué. Il est indispensable que les vols aient lieu un jour de beau temps, sans nuage, avec une faible humidité et peu de vent afin que les réponses spectrales soient polluées le moins possible.

La pellicule est sensible à des régions spectrales assez larges : 550 à 675 nm pour le rouge et 610 à 850 nm pour l'infrarouge. L'infrarouge interfère donc largement avec le rouge. Cependant, l'énergie réfléchie par le végétal dans l'infrarouge est très supérieure à celle réfléchie dans le rouge. L'erreur produite par cette interférence peut donc être supposée faible.

En outre, l'émulsion argentique de la pellicule a une sensibilité qui varie dans le temps et d'un type de pellicule à l'autre. Il n'est donc pas possible de comparer deux clichés issus de deux pellicules distinctes. Les résultats du calcul du NDVI varient aussi selon le temps d'exposition.

Enfin, l'émulsion argentique réagit à une quantité d'énergie reçue sur la pellicule, qui est alors codée en un signal radiométrique compris entre 0 et 250. Or le calcul du NDVI doit être effectué à partir de réflectances (rapport de l'énergie réfléchie sur l'énergie totale incidente en %). Il est donc impératif de recalibrer les photos rouge et infrarouge avant de réaliser le calcul du NDVI. Ce calibrage a été fait à partir de panneaux en moquette rouge et verte, réfléchissant la lumière incidente de manière homogène. Ainsi quel que soit l'angle de visée, le signal mesuré par télédétection sera sensiblement égal. La réflectance de chaque panneau a été mesurée à l'aide d'un spectroradiomètre. La réflectance globale des panneaux est obtenue par intégration des valeurs de la totalité du spectre mesuré. Les

photos sont alors recalibrées. Les résultats obtenus après calibrage sont proches de la fourchette de NDVI trouvés dans la littérature.

## Résultats et discussion

### 1) Quantification de la variabilité intra-parcellaire

En 2003, la surface foliaire totale de la parcelle étudiée présentait une variabilité de 1,6 à 3,1 m<sup>2</sup> par cep, la teneur en sucres du raisin à maturité une variabilité de 206 à 236 g/L (soit 11,8 à 13,5 degrés potentiels, Figure 1) et la teneur en anthocyanes une variabilité de 1 600 à 2 500 mg/L. Sur une autre parcelle nous avons observé entre zones de vigueur différente à l'intérieur d'une même parcelle des variations du poids des bois de taille allant de 0,22 kg/ cep à 0,46 kg/cep et un indice de polyphénols totaux dans les raisins allant de 80 à 107 (résultats non présentés). La variabilité intra-parcellaire apparaît du même ordre de grandeur que la variabilité inter-parcellaire au sein d'un domaine viticole. Cette observation justifie pleinement la prise en compte de la variabilité intra-parcellaire dans la gestion technique du vignoble.

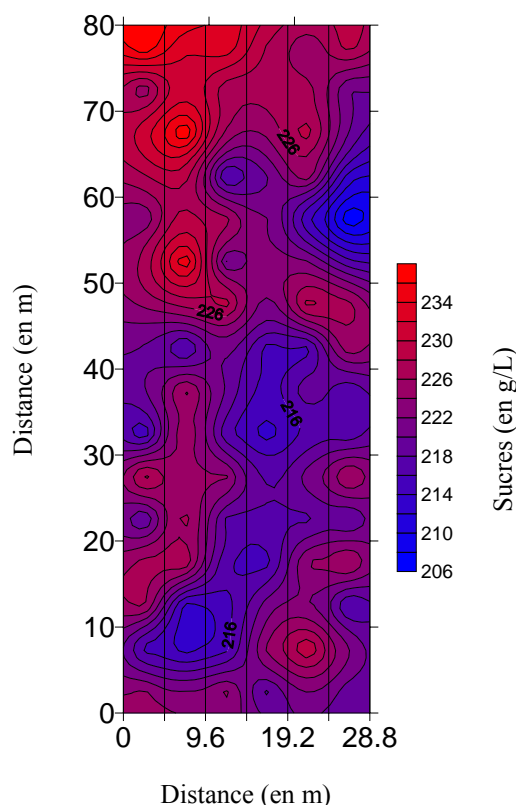


Figure 1 – Cartographie de la richesse en sucres du raisin à maturité (en g/L) d'une parcelle de vigne (Cuhins-INRA, Villenave d'Ornon, 2003)

### 2) Relation NDVI et surface foliaire

La spatialisation de la surface foliaire totale au sein de la parcelle (Figure 2) est très proche de celle du NDVI (Figure 3). Les différences de vigueur sont clairement identifiées par les deux cartes. Les variations de surface foliaire totale varient de près de 50% au sein de la parcelle. Les variations de NDVI, tout en étant moindres, permettent de dégager sensiblement les mêmes zones. Ces variations peuvent être reliées en partie aux différentes zones de sols mises en évidence sur la parcelle. La minéralisation potentielle au sein de la parcelle varie en fonction des zones de 10 à 60 kg de N /ha/an

(résultats non présentés). Une adaptation de l'itinéraire technique en fonction des zones de vigueur peut ainsi être envisagée. Les doses de traitements phytosanitaires pourront être par exemple modulées, ainsi que celles des apports minéraux ou organiques. La taille et les travaux en vert pourront éventuellement être gérés différemment. Ces différences de vigueur peuvent également entraîner des dates de vendanges distinctes. Ceci permet d'envisager des vinifications séparées en fonction des capacités de l'exploitation à la fois en terme de gestion des volumes et en terme de coûts supplémentaires que cela entraîne.

Figure 2 – Cartographie de la surface foliaire totale en m<sup>2</sup>/ cep le 31 juillet 2004 (Couhins-INRA, Villenave d'Ornon)

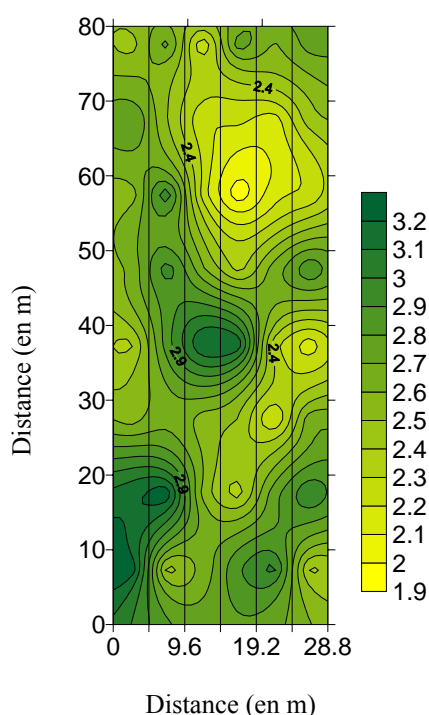
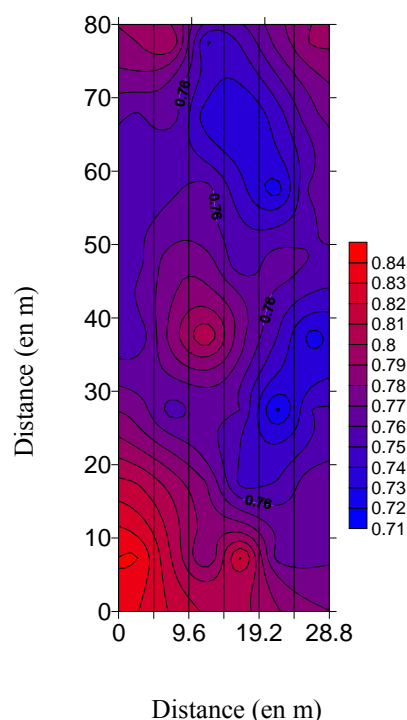


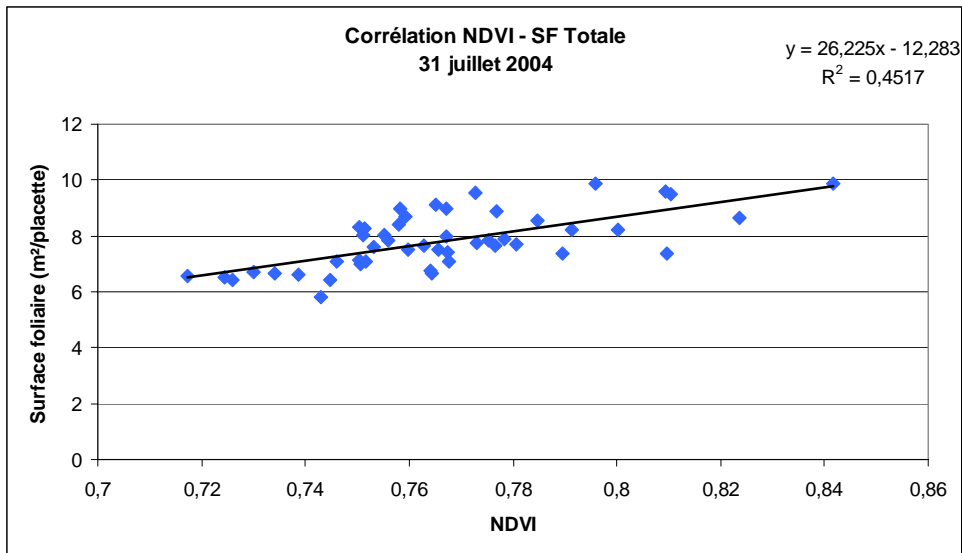
Figure 3 – Cartographie du NDVI le 31 juillet 2004 (Couhins-INRA, Villenave d'Ornon)



La corrélation entre le NDVI et la surface foliaire totale est de 0,45 pour le vol du 31 juillet 2004 (Figure 4). C'est une corrélation significative, mais elle demande à être améliorée pour une utilisation en routine au vignoble, afin de mieux estimer la surface foliaire au sol à partir d'image NDVI par avion. En effet, la mesure de la surface foliaire par la méthode de longueurs des rameaux est légèrement biaisée avec les opérations de rognage. La relation de MABROUK et CARBONNEAU (1996), s'appliquant à des rameaux entiers, est altérée et demande donc d'être corrigée en fonction de ce facteur « rognage ». Cette méthode reste relativement rapide et semble actuellement la plus appropriée pour l'acquisition d'un nombre élevé de points en vue de la détermination de la relation liant la surface foliaire totale d'une parcelle à l'NDVI. L'autre point important, cause d'éventuelles

dérives dans la relation, consiste dans le traitement signal image, tel que cela a été mentionné précédemment.

Figure 4 – Corrélation linéaire entre le NDVI et la surface foliaire totale, le 31 juillet 2004 (Cauhins-INRA Villenave d'Ornon)



## Conclusion

Au cours de ce travail, l'importance de la variabilité intra-parcellaire a été mise en évidence. Les différences au sein d'une même parcelle peuvent être aussi grandes que celles existant entre deux parcelles distinctes. La prise en compte de la variabilité intra-parcellaire devrait donc permettre une conduite de la vigne beaucoup plus fine. La spatialisation des données de surfaces foliaires et du NDVI sont similaires et permettent d'identifier clairement des zones de vigueur différentes qui mériteraient de bénéficier d'itinéraires techniques propres à chacune des zones. La relation permettant de passer du NDVI à la surface foliaire totale est en cours d'amélioration.

La télédétection à haute résolution permettant de distinguer chaque pied, même à de fortes densités de plantation, devrait permettre, dans un avenir proche, une gestion de la vigueur beaucoup plus fine en vue de l'obtention de produits de meilleure qualité.

## Littérature citée

- Bramley, R., 2001. Variation in the yield and quality of winegrapes and the effect of soil property variation in two contrasting Australian vineyards. Third European Conference on Precision Agriculture, ECPA.
- Chen, J.M., 1996. "Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications." *Canadian Journal of remote sensing* 22, 229-242.
- English, J.T., Thomas, C.S., Marois, J.J., Gubler, W.D., 1989. "Microclimates of grapevine canopies associated with leaf removal and control of Botrytis bunch rot." *Phytopathology* 79, 395-401.
- 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.
- Iland, P.G., Botting, D.G., Dry, P.R., Gidding, J., Gawel, R., 1995. "Grapevine canopy performance". Proceedings of the canopy management viticulture seminar, Australian society of viticulture and oenology.
- Jackson, D.I. and Lombard, P.B., 1993. "Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality : a review." *Am. J. Enol. Viticulture* 44, 409-430.
- Johnson, L.F., Lobitz, B., Armstrong, R., Baldy, R., Weber, E., De Benedictis, J., Bosch, D., 1996. "Airborne imaging for vineyard canopy evaluation." *California Agriculture* 50(4), 1-13.
- Lanjeri, S., Melia, J., Segarra, D., 2001. "A multitemporal masking classification method for vineyard monitoring in central Spain." *Int. J. Remote Sens.* 22, 3167-3186.
- Mabrouk, H. and Carbonneau, A., 1996. "Une méthode simple de détermination de surface foliaire de la vigne (*Vitis vinifera* L.). *Prog. Agric. Viti.* 18, 392-398.
- Montero, F.J., Melia, J., Brasa, A., Segarra, D., Cuesta, A., Lanjeri, S., 1999. "Assesment of vine development according to available water resources by using remote sensing in La Mancha, Spain." *Agric. Wat. Manage* 40, 363-375.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., Harlan, J.C., 1974. "Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation". III Final Report. Greenbelt: Md. 371 pp.C.
- Smart, R.E., 1985. "Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality." *Am. J. Enol. Viticulture* 36, 230-239.
- Smart, R.E. and Coombe, B.G., 1983. "Water relations of grapevines. Water deficits and plant growth". Kozlowski Ed. New York, Academic press. 2: 137-196.
- Tregoeat, O., Ollat, N., Grenier, G., Van Leeuwen, C., 2001. "Etude comparative de la précision et de la rapidité de mise en oeuvre de différentes méthodes d'estimation de la surface foliaire de la vigne." *J. Int. Sci. Vigne Vin* 35(1), 31-39.
- Tucker, C.J., 1979. "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation." *Remote sensing of environment* 8.
- Wildman, W., Nagaoka, R., Lider, L., 1983. "Monitoring spread of grape phylloxera by color infrared aerial photography and ground investigation." *Am. J. Enol. Viticulture* 34: 83-94.
- Winkler, A.J., 1958. "The relation of leaf area and climate to vine performance and grape quality." *Am. J. Enol. Viticulture* 9: 10-23.