

Caractérisation de la vigueur de la vigne par l'indice NDVI mesuré au sol

Characterization of vine vigor by ground based NDVI measurements

J.P. GOUTOULY^{1*}, R. DRISSI¹, D. FORGET² et J.P. GAUDILLÈRE¹

1 : INRA, UMR (Enologie-Ampélogie Équipe Écophysiologie and Agronomie Viticole
71, avenue Edouard-Bourlaux B.P.81, 33883 Villenave d'Ornon cedex, France

2 : INRA, Domaine expérimental viticole de Couhins, 33883 Villenave d'Ornon cedex, France

*Corresponding author: goutouly@bordeaux.inra.fr

Abstract: Many farming operations aim at controlling the leaf area of the vine according to its load. There are several techniques, direct and indirect, of estimate of this leaf area in a specific way, but impossible to implement at great scales. These last years, research in airborne and satellite remote sensing made it possible to show that a multispectral index of vegetation, computed from measurements of reflectances (red and near infrared), the « Normalised Difference Vegetation Index » (NDVI), is well correlated to the « Leaf Area Index » (leaf area per unit of ground) of the vine. Nevertheless these methods of acquisition and processing data are rather constraining and complex.

Recently, N-Tech Industries in collaboration with Oklahoma State University developed a ground sensing apparatus, the GreenSeekerTM, which measures the NDVI.

In this study, the GreenSeekerTM, active sensor, is shown to function independently of the climatic conditions when it is used with a screen. The NDVI delivered by the GreenSeekerTM is mainly sensitive to the variations of porosity of the foliage. However, it can be used to carry out a follow-up of the foliar growth of the vine, but with much of precautions. Linked to a GPS, it makes it possible to chart relative variations of vigor at an intraplot level

Key words: *Vitis vinifera*, remote sensing, GreenSeekerTM, NDVI / LAI

Introduction

La vigueur végétative est un critère essentiel pour qualifier une vigne. Elle est définie par la biomasse végétative produite annuellement. Parmi les différents indicateurs de vigueur de la vigne existants, l'évaluation de la surface foliaire est essentielle et son impact sur la qualité de la baie de raisin a été largement démontré. Ainsi une exposition importante à la lumière du feuillage se traduit par une amélioration de la composition des baies et de la qualité du vin (Dokoozlian et Kliewer, 1996 ; Mabrouk et Sinoquet, 1997). De même Murisier et Zufferey (1997) ont montré que le rapport « surface foliaire exposée (m²)/ kg de raisin » est un indicateur pertinent de la teneur en sucre du fruit à maturité. Une vigueur excessive apparaît ainsi préjudiciable au potentiel qualitatif de la récolte, tout comme l'est un rendement excessif par rapport à une surface foliaire donnée. En conséquence, une grande attention est portée à la densité et à la distribution foliaires dans la canopée au travers des pratiques culturales comme la taille, le relevage, le rognage et l'effeuillage. Par ailleurs, le Leaf Area Index (LAI, surface foliaire par unité de sol) est une variable d'entrée importante dans les modèles écophysiologiques de développement de la vigne (Vivin *et al.*, 2002). Le LAI est une expression du potentiel photosynthétique de la végétation en réponse à une combinaison du climat, des sols et des pratiques culturales. L'amplification actuelle des stratégies d'optimisation de la qualité du vin en relation avec son terroir de provenance implique une caractérisation plus fine de la variabilité intra-parcellaire. Par analogie avec le concept d'agriculture de précision, on peut envisager pour la viticulture, une gestion technique plus fine et plus qualitative par la prise en considération des variations intra-parcellaires de vigueur, de productivité et de constitution du raisin.

Néanmoins l'estimation directe de la surface foliaire, bien que précise, est fastidieuse. Certaines méthodes (Tregoat *et al.*, 2001) sont destructrices et par conséquent ne peuvent être appliquées à l'échelle de la parcelle. De nombreuses méthodes indirectes ont vu le jour ces dernières années (Grantz et Williams, 1993 ; Sommer et Lang, 1994 ; Carbonneau, 1996 ; Ollat *et al.*, 1998). Ces méthodes indirectes utilisent des mesures optiques basées sur la relation entre la structure du feuillage et l'interception du rayonnement. Ces techniques mesurent le « gap fraction », c'est-à-dire la proportion de lumière transmise qui n'est pas absorbée ou réfléchi par le feuillage dans une gamme de directions azimutales. Malheureusement ces dernières sont limitées par le fait

qu'elles sont ponctuelles et le LAI sur de plus grandes échelles doit ensuite être extrapolé à partir de quelques mesures.

L'imagerie par télédétection fournit la seule information appropriée pour la détermination de la couverture foliaire à plusieurs échelles spatiales en un temps réduit : les données d'image multi-spectrales collectées par avion ou satellite sont converties en mesure de densité foliaire au travers d'un indice de végétation, le Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) dont la formule est :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R}) \text{ (Rouse } et al., 1974).$$

Le calcul de cet indice est basé sur le fait que la végétation photosynthétiquement active est caractérisée par une forte absorption de la lumière incidente dans les longueurs d'ondes correspondant au rouge visible, et une forte réflectance dans la gamme de longueurs d'ondes correspondant au proche infrarouge. Plusieurs études de télédétection aérienne et satellitaire ont récemment mis en évidence une corrélation entre le NDVI et le LAI de la vigne (Johnson *et al.*, 1996, Baldy *et al.*, 1996), ainsi que la pertinence du NDVI en particulier par rapport à d'autres indices spectraux (Dobrowski *et al.* 2002). Cependant l'acquisition des données est dépendante de facteurs climatiques favorables et leur traitement s'avère assez complexe, notamment à cause dans l'inter rang d'un sol à état de surface variable selon les modes de conduite (Wassenaar *et al.*, 2001). Enfin sur un plan pratique la cartographie NDVI demeure peu accessible aux petites/moyennes propriétés.

Récemment, N-Tech Industries en collaboration avec l'Oklahoma State University a mis au point un appareil de télédétection fonctionnant au sol, le GreenSeekerTM, et qui délivre des mesures de NDVI. Cet appareil est un capteur actif, ce qui l'affranchit des conditions climatiques lors de la mesure. Le GreenSeekerTM est déjà employé sur les cultures de blé et de maïs de manière efficace. Il permet d'adapter la fertilisation à la vigueur localisée des plantes. Cette étude a eu pour objectif de tester les performances du GreenSeekerTM pour caractériser la vigueur de la vigne au travers de deux indicateurs, la porosité et ce que nous appellerons par la suite Vertical Leaf Area Index (VLAI), à savoir la surface foliaire par unité de palissage vertical. Cette étude aborde également les aspects pratiques d'emploi de l'appareil ainsi que de cartographie de la vigueur.

Matériels et méthodes

Vignoble

Les expérimentations ont été conduites sur une parcelle de vigne située à Villenave d'Ornon (lat/long WGS84 : 44° 45' 14" N / 0° 33' 38" E ; Château Couhins, AOC Pessac-Léognan, Bordeaux, France). La parcelle est de 0,25 ha, de cépage *Vitis vinifera* L. cv Merlot greffé sur Fercal planté à la densité de 6 250 ceps/ha (distance inter-rangs : 1,6 m ; distance dans le rang : 1 m), conduite en guyot double et avec les rangs orientés dans l'axe nord-sud. La hauteur de rognage est de 1,50 m, la hauteur de palissage de 1 m. Le sol est hétérogène et comprend des zones cartographiées de sols de graveleux, argileux ou sableux.

Mesure NDVI

Le GreenSeekerTM est un capteur optique portable, à base de diodes électroluminescente (LED) émettant de la lumière à haute intensité dans le rouge à 660 nm +/- 10 nm « full width half magnitude » ou FWHM (rouge) et dans le proche infra-rouge à 770 +/- 15 nm FWHM nm. Un récepteur à photodiode de silicium mesure la quantité de lumière réfléchiée par la cible, sur une surface de 0,61 x 0,01 m. La distance capteur-cible doit être comprise entre 0,8 et 1,2 m. Le GreenSeekerTM a été installé soit sur un portique (expériences d'analyse du signal et de défoliation sur neuf ceps) soit sur un tracteur (expériences de cartographie de parcelles) afin d'assurer une visée horizontale perpendiculaire au plan de palissage, à 1 m de celui-ci. Un écran a été installé à l'opposé du champ de visée, de l'autre côté du rang de vigne. Cet écran est nécessaire afin de bien distinguer le feuillage du rang étudié des interférences occasionnées par les autres rangs situés à l'opposé du capteur. La luminance incidente étant connue et mesurée, l'appareil calcule alors les valeurs de réflectance puis le NDVI tel que $\text{NDVI} = (\mathbf{R}_{770} - \mathbf{R}_{660}) / (\mathbf{R}_{770} + \mathbf{R}_{660})$ avec \mathbf{R}_{660} : réflectance de la cible dans la bande rouge et \mathbf{R}_{770} : réflectance de la cible dans la bande infrarouge

Le logiciel Ntech CaptureTM effectue des mesures de réflectance à une fréquence de 100 Hz, qu'il moyenne ensuite à une fréquence de 10 Hz.

Calcul de la surface foliaire - Définition d'un « Vertical LAI »

La mesure de la surface foliaire a été effectuée par mesure des longueurs de nervures latérales supérieures (méthode « non-destructive » (Carbonneau, 1976). Par ailleurs des taux de défoliations manuelles successives, réalisées au vignoble, ont permis de faire varier la surface foliaire. Dans ce cas, nous avons procédé par pesée des limbes, méthode plus rapide (Trégoat *et al.*, 2001). Par analogie au LAI, ceci nous a permis de calculer un « vertical LAI » puisque le champ de visée du GreenSeekerTM est perpendiculaire au plan de palissage.

Calcul de la porosité du feuillage par analyses d'images

Le calcul de la porosité du feuillage d'une vigne est effectué par analyse d'image (d'après Souchon *et al.*, 2001). Des photos numériques du plan de palissage placé sur fond rouge ont été prises aux environs du midi solaire. Les photos sont ensuite traitées grâce aux logiciels *Adobe Photoshop 7.0.1*[®] et *Image J*, pour les extractions, seuillages et segmentations de l'image afin de calculer la proportion de pixels blancs appartenant au fond de l'image (équivalents aux trous dans le feuillage) et de pixels noirs appartenant au couvert végétal de la vigne. Cette proportion donne la valeur de porosité du feuillage.

Sur la surface détectée par le GreenSeekerTM (*i.e.* 0,65 x 0,02 m) placé à 1 m de distance, on constitue en laboratoire un tapis monocouche de feuilles, constitué d'une couche de feuilles soit âgées (moyenne de la somme des nervures latérales supérieures = 23,4±1,44 cm) soit jeunes (moyenne de la somme des nervures latérales supérieures = 14,5±1,45 cm), afin d'évaluer le signal composite NDVI émis par le feuillage d'une vigne en pleine croissance. Ce tapis de feuille est progressivement retiré de cette surface, jusqu'au retrait complet qui correspond à 100% de porosité. Par ailleurs des taux de défoliations manuelles successives réalisées au vignoble (26/07/04) ont permis de faire varier la porosité de 9 ceps de vigne.

Géostatistique

La distribution spatiale des données a été analysée par géostatistique. Les cartographies ont été effectuées par la technique du krigeage ordinaire.

Résultats et discussion

NDVI - Porosité du feuillage - Surface foliaire

Les deux courbes (sigmoïdes) correspondant aux tapis monocouches de feuilles jeunes d'une part, et de feuilles âgées d'autre part, sont très proches (figure 1). Pour une porosité inférieure à 10%, une valeur maximale de NDVI du tapis monocouche est atteinte. Celle avec des jeunes feuilles est de 0,85, celle des feuilles plus âgées de 0,92. La différence de NDVI observée n'est cependant pas très importante (0,07). Au-delà de 35% de porosité, le signal NDVI apparaît similaire, quel que soit le type de feuilles. Le taux d'occupation semble être alors le principal facteur d'influence du signal reçu par le capteur et qu'une seule couche de feuille permet d'obtenir des valeurs maximales de NDVI.

Les défoliations progressives de 9 ceps au vignoble permettent d'établir les relations qui lient le NDVI au VLAI (figure 2), et le NDVI à la porosité (figure 3). On observe que le coefficient de signification R² qui lie le NDVI à la porosité est supérieur (0,944) à celui qui lie le NDVI au VLAI (0,852).

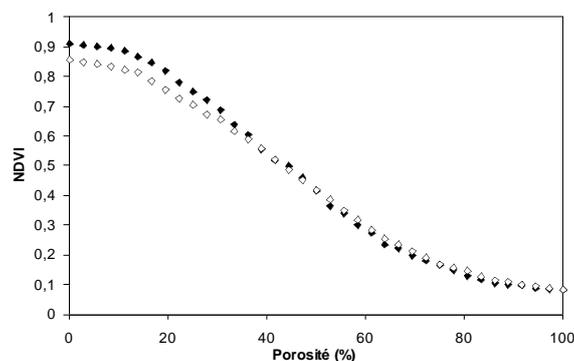


Figure 3 – NDVI et taux de porosité (monocouche de feuille)

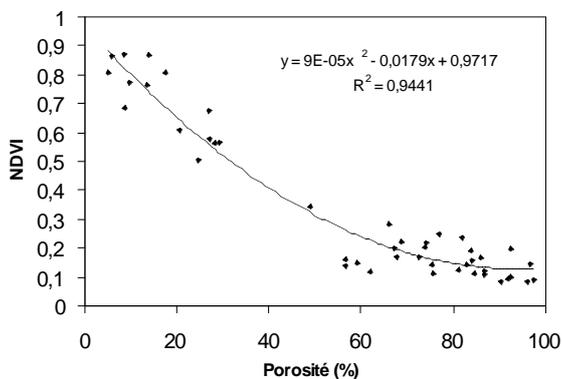


Figure 2 - NDVI et du taux de porosité au vignoble

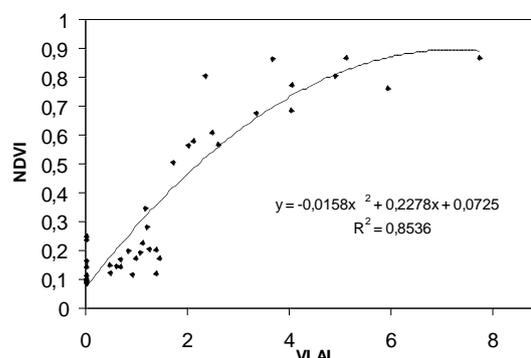


Figure 3 - NDVI et VLAI au

Le NDVI apparaît donc comme étant plus sensible à la porosité du feuillage qu'au VLAI. Avant véraison, on peut également constater que les grappes jouent un rôle non négligeable sur le NDVI, car elles sont responsables des valeurs de NDVI comprises entre 0,2 et 0,3 quand le cep est entièrement défolié (VLAI=0). Une régression

multiple entre le taux de porosité et la densité locale de feuillage montre que ces deux variables interviennent de façon très hautement significative ($P < 0.001$ pour chacune des variables) dans le signal caractérisant le NDVI. Le taux de porosité est la variable qui explique le plus les variations de NDVI : en effet, $t(\text{porosité}) = -23,785$ contre 4,920 pour la densité localisée du feuillage. L'équation étant alors $\text{NDVI} = -0.009 x + 0.0027 y + 0.027$, avec (x en %) (y en cm^2/cm)

Le signal NDVI du GreenSeekerTM peut donc servir à caractériser le VLAI de la vigne (pour des valeurs inférieures à 4). Mais cet indice est davantage sensible à la porosité. La relation observée entre NDVI et VLAI existe donc par le biais de la relation qui lie le VLAI à la porosité : $\text{porosité} = -4,4624 \text{VLAI}^2 + 43,848\text{VLAI} - 7,9701$, $R^2 = 0,8947$. Le signal reçu par le capteur est expliqué principalement par le taux de porosité, et dans une moindre mesure par l'épaisseur localisée du feuillage dans le rang.

Cartographies de la vigueur intra parcellaire

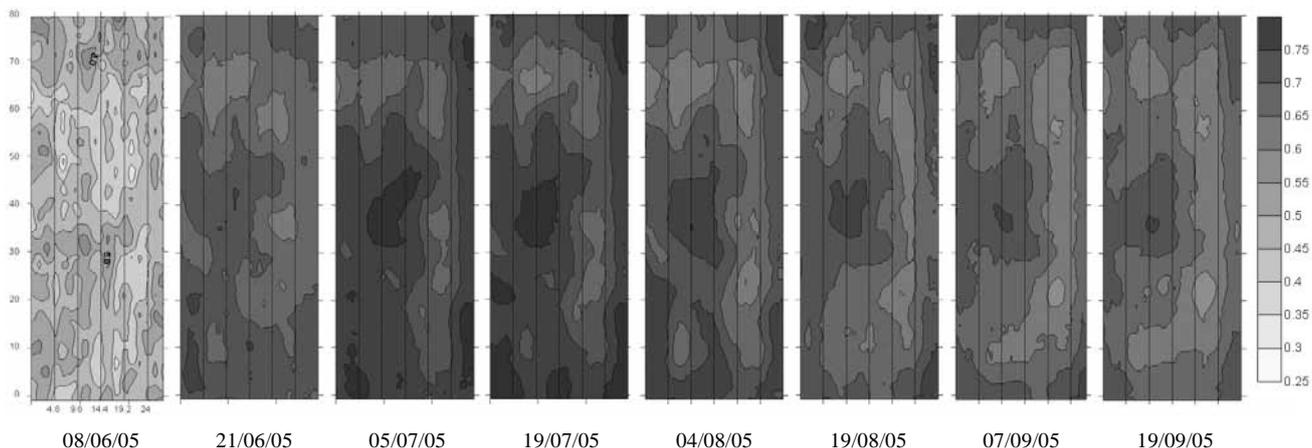


Figure 4 - NDVI d'une parcelle au cours d'une partie du cycle (de mi-floraison 04/06/05 à la récolte 12/09/05)

À cause du fort impact du taux de porosité sur le signal NDVI, il est délicat de l'utiliser pour l'estimation de la croissance foliaire à la parcelle en situation de conduite viticole. En effet, les rognages successifs occasionnent des retraits variables de feuilles, qui génèrent alors une fluctuation du taux de porosité et de fait du NDVI en résultant (données non montrées). La reprise de la croissance après un rognage n'est pas identique en fonction du cycle et des conditions de croissance du millésime. Cependant à partir des relations qui ont été établies entre NDVI, VLAI et la porosité du feuillage, il est intéressant d'utiliser sur les potentialités du NDVI délivré par le GreenSeekerTM à une date donnée, pour caractériser globalement la vigueur intra parcellaire. Les résultats de la figure 4 correspondent à un suivi toutes les deux semaines environ, depuis la floraison jusqu'à la récolte en 2005.

La plage de mesure du capteur étant de « 0,65 m x 0,02 m », la mesure de NDVI est calée sur la hauteur de rognage, ce qui correspond aux deux tiers haut du palissage (0,65 m sur 1 m de partie feuillée). Les rognages de la parcelle ont été effectués au 27/06, 07/07 et au 20/07/05. Ces résultats montrent globalement la dynamique de l'installation de la surface foliaire à l'échelle d'une parcelle en situation de production viticole. Le maximum de réponse de la mesure du NDVI a lieu dans la deuxième quinzaine de juillet, trois semaines avant la mi-véraison (04/08/05). Des zones de vigueur variables ont été mises en évidence, et sont en liaison avec les zones hétérogènes de sols caractérisés.

La pesée du bois de taille sur un maillage régulier de 576 ceps a permis de dresser la carte de cet autre indicateur de vigueur (figure 5).

Les zones de faibles et de fortes vigueurs que l'on peut caractériser par l'intermédiaire de ces deux indicateurs, NDVI et poids de bois de taille, sont similaires.

Cartographie de la vigueur d'un domaine viticole

Appliquée à l'ensemble des parcelles d'un domaine viticole, cette mesure de la vigueur végétative permet de révéler clairement des hétérogénéités (figure 6). Cependant il faut considérer cette carte avec un certain recul. En effet différentes causes peuvent influencer sur le signal NDVI, ce dernier étant relié à la couleur des feuilles (taux de chlorophylle). Ainsi parmi les principaux facteurs qui sont actifs sur ce signal, on cite : a) le sol (texture, fertilisation...), b) le cépage (notion de précocité), c) les maladies qui altèrent le feuillage (carences, viroses, maladies du bois...), d) l'historique ou précédant cultural (effet du remembrement rural, plantation après forêt ou autres cultures, drainage partiel...).

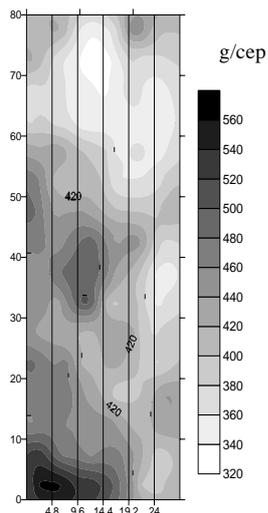


Figure 5 - Variation du poids de bois de taille



Figure 6 - Cartographie NDVI d'un domaine

Ce sont l'ensemble de ces facteurs qu'il faut passer en revue, dans le cadre d'une analyse inter et intra parcellaires, afin de diagnostiquer l'origine de l'écart de vigueur constaté. La cartographie de la vigueur par NDVI soulève ainsi des questions intéressantes quant à la gestion du domaine. Certaines parcelles présentent des hétérogénéités d'une surface suffisamment grande pour envisager une possible gestion différenciée.

Conclusion

Il est désormais possible de caractériser la vigueur de la vigne, grâce à l'évolution des technologies permettant la mesure du NDVI. Parmi celles-ci, le NDVI acquis par GreenSeekerTM, appareil initialement prévu pour les grandes cultures, apparaît comme un outil opérationnel en vignoble. C'est un outil qui permet d'effectuer le suivi spatial et temporel de la vigueur des parcelles. Associé à une carte des sols, il peut permettre une meilleure compréhension, un meilleur suivi et une meilleure valorisation de l'hétérogénéité du vignoble et de la qualité qui en découle. Les prises de décision pourront être définies clairement et leur répercussion analysées de façon optimale.

Références bibliographiques

- Baldy, R., J. Benedicts, L. Johnson, E. Weber, M. Baldy, B. Osborn, and J. Burleigh. 1996. Leaf color and vine size are related to yield in a phylloxera infested vineyard. *Vitis*. **35** : 201-205.
- Carbonneau, A. 1996. Une méthode simple de détermination de la surface foliaire de la vigne (*Vitis vinifera* L.). *Prog. Agri. Vit.* **113**: 392-398.
- Dobrowski, S.Z., S.L. Ustin, and J.A. Wolpert. 2002. Remote estimation of vine canopy density in vertically shoot-positioned vineyards: determining optimal vegetation indices. *Aust. J. Grape Wine Res.* **8**(2) : 117-125.
- Dokoozlian, N.K. and W.M. Kliewer. 1996. Influence of light on grape berry growth and composition varies during fruit development. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **121**: 869-874.
- Grantz, D.A. and L.E. Williams. 1993. An empirical protocol for indirect measurement of leaf area index in grape (*Vitis vinifera* L.). *HortScience*. **28**: 777-779.
- Johnson, L., B. Lobitz, R. Armstrong, R. Baldy, E. Weber, J. De Benedictis, and D. Bosch. 1996. Airborne Imaging for Vineyard Canopy evaluation. *California Agriculture*. **50** : 1-12.
- Mabrouk, H., H. Sinoquet, and A. Carbonneau. 1997. Canopy structure and radiation regime in grapevine. II. Modeling radiation interception and distribution inside the canopy. *Vitis*. **36** : 125-132.
- Murisier, F. and V. Zufferey. 1997. Rapport feuille-fruit de la vigne et qualité du raisin. *Revue Suisse de Vitic. Arboric. Hortic.* **29**(6): 355-362.
- Ollat, N., M. Fermaud, J.P. Tandonnet, and M. Neveux. 1998. Evaluation of an indirect method for leaf area index determination in the vineyard: Combined effects of cultivar, year and training system. *Vitis*. **2** : 73-78.
- Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering, and J.C. Harlan. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. III Final Report, Greenbelt, Md. USA. 371 pp.
- Sommer, K.J. and A.R.G. Lang. 1994. Comparative analysis of two indirect methods of measuring leaf area index as applied to minimal and spur pruned grape vines. *Aust. J. Plant Physiol.* **21** : 197-206.

- Souchon, N., C. Renaud, and B. Tisseyre. 3 au 7 juillet 2001. Comparaison d'indicateurs d'entassement du feuillage sur vigne. GESCO 12èmes journées - Montpellier. Vol **1** : 97-102.
- Tregoat, O., N. Ollat, G. Grenier, et C. van Leeuwen. 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. Sc. Vigne Vin.* **35**(1) : 31-39.
- Vivin P., Castelan-Estrada M. et Gaudillère J.P., 2002. A source/sink model to simulate seasonal allocation of carbon in grapevine. *Acta Horticulturae*, **585** : 43-56.
- Wassenaar T., Baret F., Robbez-Masson J-M., and Andrieux P. (2001). Sunlit soil surface extraction from remotely sensed imagery of perennial, discontinuous crop areas; the case of Mediterranean vineyards. *Agronomie* **21** : 235-245