

Viticulture de précision : *Les capteurs à la loupe*



Cette journée technique **Vitinnov** 

est organisée en partenariat avec

le transfert de l'ISVV, Bordeaux Sciences Agro
et le cluster Inno'Vin



Avec le soutien de



PROGRAMME

Les solutions d'aujourd'hui

- Viticulture de précision : état des lieux après plus de dix ans d'expérience.....1
Bruno Tisseyre
- Vitidrone, mise au point d'un service de télédétection du vignoble par des drones.....2
David Granger
- Développement et application d'un capteur physiologique en Champagne7
Olivier Garcia
- Adaptation régionale d'un capteur : l'exemple du Physiocap® en Gironde.....12
Séverine Mary
- L'utilisation du modèle numérique de surface pour déterminer l'érosion dans les vignes et
l'utilisation des images aériennes pour déterminer la porosité de la vigne.....16
Dorothea Noll
- Utilisation des images aériennes à très haute résolution pour documenter des cas d'érosion suite à
des événements pluvieux intenses ou récurrents.....20
Dorothea Noll
- Etude des variations de sensibilité d'un vignoble contre les principales maladies cryptogamiques de la
vigne24
Marc Raynal

Les outils de demain

- Détection Précoce des maladies fongiques par imagerie hyperspectrale en culture fruitière.....29
Pierre Vaysse
- Dispositif multispectral haute résolution pour la détection de foyers infectieux en vigne par drone.32
Frédéric Cointault
- Développement d'un outil d'estimation du rendement de la vigne à la parcelle36
Christian Germain

Un objectif :

- Le développement économique de la filière vitivinicole

Deux missions :

- Ingénierie de projets
- Animation d'un réseau d'entreprises

Inno'Vin accompagne :

- Des **projets collaboratifs** pour développer un produit ou un service innovant.
- Des **pré-études techniques** de validation de concepts.
- Des **collaborations inter-entreprises**
- Des valorisations industrielles de résultats de recherche en collaboration avec la communauté scientifique.

Adhérer au Cluster Inno'Vin, c'est :

- Améliorer votre **compétitivité** grâce à l'innovation collaborative
- Intégrer un **réseau** pour partager, réfléchir et valoriser votre savoir-faire
- Disposer d'une **expertise technique** et économique
- Accroître votre **visibilité** sur la filière vitivinicole
- Accélérer la réalisation de vos **projets d'innovation**

Inno'Vin c'est plus de 120 adhérents* :

- Plus de **100 entreprises** fournisseurs (fabricants de matériels, de produits...), producteurs de vin et négociants
- Des organismes de **R&D et formation**
- Des organismes **institutionnels**

* au 10/01/2015

Un positionnement original :

- Sur toute la **chaîne de valeur** (de la vigne au verre)
- Sur l'ensemble des **acteurs** (fournisseurs et utilisateurs)
- Sur les **enjeux** de la filière (environnement, typicité, marché)

Une offre de services diversifiée :

- Un **accompagnement personnalisé et confidentiel** sur le montage des projets d'innovation (ingénierie de projets).
- Un accès privilégié à certains **financements publics**
- Des **événements de réflexion** sur des problématiques actuelles (conférences, ateliers...)
- Un point d'entrée vers les **acteurs/interlocuteurs clés de la filière** (fournisseurs et producteurs)
- Un accès à des prestations et services à **tarif négocié** (plateforme veille, gestion de la propriété industrielle...)

VITICULTURE DE PRECISION : ETAT DES LIEUX APRES PLUS DE DIX ANS D'EXPERIENCE

Bruno Tisseyre

UMR ITAP, Montpellier SupAgro/Irstea

L'agriculture de précision est un concept qui a émergé au début des années 90 avec l'avènement du positionnement par satellites. On ne mesure pas à quel point la possibilité de localiser une observation, une machine ou une action, simplement et n'importe où à la surface du globe a permis d'envisager de nouvelles pratiques en agriculture. Ces pratiques, comme la modulation de la fertilisation ou du semis, sont aujourd'hui de plus en plus adoptées à travers le monde. Dix ans plus tard, au début des années 2000, les premiers travaux de recherche en viticulture de précision émergeaient dans plusieurs pays de manière concomitante : en France, en Australie et en Espagne. Ces premières recherches ne se sont pas uniquement focalisées sur le développement de capteurs spécifiques pour la viticulture, elles se sont aussi focalisées sur l'étude de la variabilité spatiale des principaux paramètres quantitatifs, de qualité, d'état hydrique, etc. au niveau intra-parcellaire.

Ces travaux ont permis de mettre en évidence la grande variabilité des parcelles viticoles et l'intérêt de la prendre en compte pour améliorer la gestion de la production viticole. Grâce à cette connaissance, il a été possible de donner un sens à l'agriculture de précision appliquée à la viticulture. Suivant la définition donnée par McBratney *et al.* en 2005¹, la viticulture de précision peut donc être considérée comme un type de conduite visant à augmenter le nombre de (bonnes) décisions par unité d'espace et de temps, ainsi que les bénéfices nets qui y sont associés. En pratique, la viticulture de précision est ainsi un ensemble de méthodes basées sur l'information et visant à optimiser les performances d'une exploitation viticole sur plusieurs plans :

- technique (maximiser les performances agronomiques de l'exploitation),
- économique (optimiser le gain économique de l'exploitation),
- environnemental (limiter les impacts des pratiques de l'exploitation).

Grâce à la viticulture de précision, les pratiques agricoles de l'exploitation ont donc vocation à être optimisées selon chacun de ces plans en se basant sur la prise en compte des variabilités spatiales et temporelles que peut présenter l'outil de production. La détection de ces variabilités est assurée par les moyens issus des sciences de l'information (capteurs, au sens large du terme). Cette définition montre à quel point, le capteur et la donnée qui en découle sont au cœur du système. Il s'agit d'un domaine en constante évolution où des progrès technologiques constants permettent d'accéder toujours plus facilement (et à moindre coût) aux observations avec des résolutions spatiales et temporelles de plus en plus fines. Les innovations dans le domaine des capteurs permettent également d'accéder à de nouvelles observations. C'est le cas par exemple de l'hyperspectral, du thermique, mais aussi d'autres sources d'informations comme le terrahertz, la 3D qui devient facilement accessible grâce à la photogrammétrie par drone.

Ce contexte en pleine évolution justifie de nouvelles recherches pour étudier l'intérêt applicatif de nouvelles sources d'observations en viticulture. Il justifie également l'intérêt de journées techniques comme celle organisée par Vitinnov qui permet de réunir une communauté de scientifiques et de professionnels afin de faire un point sur les avancées en matière de capteurs appliqués à la viticulture, les développements en cours dans ce domaine ainsi que les perspectives applicatives envisageables à court ou moyen terme.

¹ McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., and Bouma, J. (2005). Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*, 6 :7-23.

VITIDRONE : MISE AU POINT D'UN SERVICE DE TELEDETECTION DU VIGNOBLE PAR DES DRONES

D. Granger¹, S. Mary¹, C. Laveau¹, G. Darrieutort¹, B. Keresztes² et C. Germain²

¹ Vitinnov, Bordeaux Sciences Agro, ISVV, 1 cours du General De Gaulle, 33170 Gradignan

² Université de Bordeaux, IMS UMR 5218, 33400 Talence

Contact : David Granger. Email : david.granger@agro-bordeaux.fr

Introduction

Depuis une vingtaine d'années, l'agriculture de précision vit un essor accru, facilité par le développement de nouvelles technologies et de nouveaux procédés comme la miniaturisation des capteurs ou l'automatisation des mesures. Toutefois l'adaptation de ces outils en viticulture est plus lente car confrontée aux spécificités même de cette culture : pérenne, organisée en rangs et gérée en parcelles de petite taille.

Durant les quatre dernières années, une technologie à maturité semble tirer son épingle du jeu, avec la création de nombreuses sociétés commerciales : le drone. L'enjeu actuel pour ces sociétés est de définir les applications les plus adaptées à cet outil capable d'acquérir des images à haute, voire très haute, résolution spatiale et temporelle.

C'est dans ce contexte mouvant et dynamique, et sous l'impulsion du cluster Inno'Vin, que le projet VITIDRONE, porté par la société Vitivista, a vu le jour en 2012, avec comme objectif d'apporter un service de télédétection réactif, précis et peu coûteux à partir de drones autonomes à l'échelle d'une exploitation viticole.

Ce projet multipartenaires¹ s'est dans un premier temps focalisé sur la caractérisation de la vigueur grâce au Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) en s'articulant autour de 3 axes : l'adaptation de capteurs performants à intégrer sur les drones, l'amélioration de l'interprétation des outils de télédétection et la proposition de services à partir d'une plateforme web interopérable.

Le travail présenté aujourd'hui se concentrera sur les mesures mises en place pour répondre aux trois questions principales qui se sont posées pour valider la solution proposée :

- L'algorithme de traitement des images est-il adapté aux spécificités viticoles ?
- Quelles sont les données agronomiques corrélées aux cartes de vigueur produites ?
- Les gains attendus par l'utilisation du drone sont-ils vérifiés ?

Mise en place de l'expérimentation et choix des indicateurs

L'expérimentation a été réalisée entre 2012 et 2015 sur un total de 12 parcelles mises à disposition par trois châteaux partenaires. Parmi les mesures possibles pour caractériser la vigueur de la vigne et/ou les causes de celles-ci, les mesures suivantes ont été choisies :

- L'indice N-tester, indice chlorophyllien permettant d'estimer l'azote foliaire pendant la saison en valeur relative,
- La Surface Externe du Couvert Végétal (SECV), méthode qui mesure le volume de végétation (Murisier F., 1996),
- Le poids de récolte, indicateur de biomasse complémentaire aux pesées de bois de taille,
- Le poids des bois de taille, qui définit la biomasse produite par la vigne dans l'année écoulée (Champagnol F., 1984).

¹ Vitivista, Fly-n-Sense, Vitinnov, Specterra, Bordeaux Sciences Agro et trois propriétés viticoles.

Ces mesures agronomiques ont été réalisées sur un nombre de ceps représentatifs de la variabilité intra-parcellaire (environ 1% des ceps), soit entre 50 et 75 ceps selon la taille des parcelles. Les résultats de ces mesures de terrain ont été comparés aux valeurs de NDVI acquises à partir d'images aériennes obtenues avec un vecteur avion et/ou un vecteur drone.

Ces images brutes ont été produites avec une précision de 25 cm à 10 cm pour l'avion et 2,5 cm pour le drone. L'extraction des données NDVI a été réalisée grâce à des logiciels de cartographie adaptés.

Il est intéressant de noter que les algorithmes d'analyse d'images issus de la technologie drone ont été développés spécifiquement pour le projet. Le réel gain de ces algorithmes est la prise en compte d'une donnée supplémentaire par rapport aux données avion : l'altitude, facilitant la création d'un modèle numérique de surface.

Validation agronomique de la solution

Comparaison des algorithmes

Les deux partenaires du projet dédiés à l'analyse des images (Specterra et BSA) ont utilisé et mis à disposition du consortium deux algorithmes différents pour mener à bien cette étude. La différence principale entre les deux réside dans la méthode d'isolement de la donnée NDVI recherchée.

Afin de connaître leur efficacité, isoler l'algorithme le plus performant et favoriser un développement mutuel de la solution, nous avons débuté notre étude par une comparaison de ces deux algorithmes.

Tableau 1: Comparaison des algorithmes BSA et Specterra selon le vecteur (avion/drone) et par parcelle en fonction de la relation NDVI / poids de bois de taille de l'année 2014. Les données présentées sont issues des R^2 obtenus par régression linéaire.

		Relation NDVI / Poids bois de taille (R^2)			
		Avion		Drone	
Parcelle	Cépage	BSA	Specterra	BSA	Specterra
p1	Cabernet S	0,85	0,87	0,87	0,73
p2	Petit Verdot	NS	0,37	NS	NS
p3	Merlot	0,61	0,64	0,77	0,67
p8	Merlot	0,74	0,73	0,60	0,65
p9	Merlot	0,59	0,65	0,69	0,60
p10	Cabernet S	NS	NS	0,80	0,83
p11	Cabernet S	NS	NS	0,67	0,29

Les deux algorithmes présentent des résultats très proches (Tableau 1). Pour l'acquisition avion, la méthode Specterra est légèrement meilleure dans 57% des cas et similaire à celle de BSA dans 29%. Pour le drone, la tendance s'inverse puisque BSA propose de meilleures corrélations dans 57% des cas et similaires dans 29%.

Malgré de très fines différences et dans la majeure partie des cas, les deux algorithmes étudiés fonctionnent de manière fiable et similaire. Nous avons donc choisi, dans ce document, de vous présenter les résultats issus de l'algorithme Specterra.

L'algorithme de traitement des images est-il adapté aux spécificités viticoles ?

La configuration des parcelles de vigne conduites avec un système de production en rangs oblige à avoir un traitement de l'image performant, permettant d'isoler les informations propres à la vigne. Les algorithmes utilisés doivent donc permettre de s'affranchir des données sols, et notamment de l'enherbement.

Tableau 2 : Etude de la relation entre les données NDVI (avion, algorithme Specterra) et le poids des bois de taille par modalité enherbée / travaillée. Les données présentées sont issues des R² obtenus par régression linéaire.

Relation NDVI / Poids bois de taille (R ²)			Travaillé	Enherbé
2012	p4 vs p5	Cabernet S	0,87	0,61
	p6 vs p7	Merlot	NS	NS
2014	p9 vs p8	Merlot	0,65	0,73
	p11 vs p10	Cabernet S	NS	NS

L'effet parcellaire semble plus fort que l'effet de l'enherbement sur la possibilité d'établir une corrélation entre le NDVI et la pesée des bois de taille (Tableau 2). Lorsque la relation est significative sur un cépage et une propriété, elle l'est que le sol soit travaillé ou enherbé. Inversement si aucune corrélation significative n'a pu être établie, cela est le cas quel que soit le travail du sol réalisé.

Il semble donc que les deux algorithmes soient en mesure de traiter les images en éliminant les données issues de l'inter rang et que, par conséquent, les valeurs de NDVI obtenues soient principalement issues de pixels isolés à partir de la végétation « vigne ».

Quelles sont les données agronomiques corrélées aux cartes de vigueur produites ?

La réponse à cette question nécessite d'isoler les indices de vigueur ou de causes de la vigueur associés aux données cartographiques proposées.

Tableau 3 : Etude de la relation entre les données NDVI (avion, algorithme Specterra), le poids des bois de taille, le poids de récolte et le N-tester par parcelle en 2012. Les données présentées sont issues des R² obtenus par régression linéaire.

Année	Parcelle	Cépage	Relation NDVI / Poids bois de taille (R ²)	Relation NDVI / poids de récolte (R ²)	Relation NDVI / N-tester (R ²)
2012	p1	Cabernet S	0,46	0,57	NS
	p2	Petit verdot	0,89	0,42	0,65
	p3	Merlot	0,87	0,80	0,74
	p4	Cabernet F	0,87	0,34	NS
	p5	Cabernet F	0,61	NS	NS
	p6	Merlot	NS	NS	NS
	p7	Merlot	NS	NS	NS

Tableau 4 : Etude de la relation entre les données NDVI (avion, algorithme Specterra), le poids des bois de taille, le N-tester et la SECV par parcelle en 2014. Les données présentées sont issues des R² obtenus par régression linéaire.

Année	Parcelle	Cépage	Relation NDVI / Poids bois de taille (R ²)	Relation NDVI / N-tester (R ²)	Relation NDVI / SECV (R ²)
2014	p1	Cabernet S	0,87	NS	0,75
	p2	Petit verdot	0,37	NS	NS
	p3	Merlot	0,64	NS	NS
	p8	Merlot	0,73	0,24	NS
	p9	Merlot	0,65	0,45	NS
	p10	Cabernet S	NS	NS	NS
	p11	Cabernet S	NS	NS	NS

Grâce aux analyses statistiques réalisées entre les données NDVI et les mesures agronomiques de terrain (Tableaux 3 et 4), nous pouvons dire que la pesée de bois de taille est mieux corrélée aux cartes produites par Specterra que l'indice N-tester, le poids de récolte ou la SECV.

En effet la relation NDVI/poids de bois de taille est positive dans 70% des cas avec un R^2 compris entre 0.37 et 0.89. Marguerit E. *et al.* (2006) avaient déjà montré une relation positive entre cet indicateur et le NDVI (R^2 de 0.47). L'algorithme utilisé dans notre étude permet d'améliorer cette corrélation dans la majorité des cas.

Une relation dans 57% des cas a été établie avec la pesée de récolte ($0,34 < R^2 < 0,80$), deuxième indicateur de biomasse, tandis qu'une relation n'a été établie que dans 29% des cas avec l'indice N-tester ($0,24 < R^2 < 0,74$).

Pour la SECV, la corrélation n'atteint que 14% des cas, principalement à cause de la différence entre les deux méthodes d'estimation : une acquisition d'image verticale (mesure de la canopée) et des mesures agronomiques horizontales (mesure de la porosité).

Ces mesures valident le fait que les cartes étudiées sont la représentation de la vigueur de la vigne par l'intermédiaire de la biomasse produite dans l'année, et non le reflet d'une cause de la vigueur telle que l'alimentation azotée.

De fait, les conseils agronomiques qui peuvent être formulés à partir des cartes produites doivent être similaires à ceux émis à partir des pesées de bois de taille, et peuvent donc se traduire, par exemple, par une adaptation de la fertilisation azotée et/ou de la taille.

Toutefois, il est important de noter que la corrélation de ces mêmes cartes avec un indice de vigueur mesuré en saison (et non en fin de saison comme la pesée des bois de taille) serait intéressante afin d'envisager des conseils de gestion en cours d'année et non pas uniquement d'une année sur l'autre.

Les gains attendus par l'utilisation du drone sont-ils vérifiés ?

En comparant les cartes de vigueur acquises par avion à celles acquises par le drone, nous avons tenté d'observer les bénéfices de cette nouvelle technologie. L'utilisation de la haute résolution voire de la très haute résolution permet-elle de gagner en information ? Est-on capable de l'utiliser pour des accompagnements agronomiques ?

Tableau 5 : Comparaison de la technologie avion versus drone entre les données NDVI (algorithme Specterra) et les mesures agronomiques de terrain par parcelle en 2014. Les données présentées sont issues des R^2 obtenus par régression linéaire.

Parcelle	Cépage	Relation NDVI / Poids bois de taille (R^2)		Relation NDVI / N-tester (R^2)		Relation NDVI / SECV (R^2)	
		Avion	Drone	Avion	Drone	Avion	Drone
p1	Cabernet	0,87	0,87	NS	NS	0,75	0,74
p2	Petit	0,37	NS	NS	NS	NS	NS
p3	Merlot	0,64	0,64	NS	NS	NS	NS
p8	Merlot	0,73	0,65	0,24	0,35	NS	NS
p9	Merlot	0,65	0,60	0,45	0,37	NS	NS
p10	Cabernet	NS	0,29	NS	NS	NS	NS
p11	Cabernet	NS	0,83	NS	NS	NS	NS

Les données issues d'une acquisition d'images par drone ne mettent pas en évidence un gain de précision flagrant par rapport à l'avion (Tableau 5). En effet, pour les trois indicateurs agronomiques confondus, les coefficients de corrélation sont similaires entre l'avion et le drone dans 62% des cas. Le drone est plus précis dans 14% des cas et moins précis que l'avion dans 24% des cas mais il permet d'obtenir des corrélations sur 2 parcelles où aucune relation significative n'a pu être mise en évidence avec l'avion (p10 et p11).

Nous avons observé que la technologie drone apporte un gain de résolution manifeste sur l'image brute même s'il n'est pas possible de le valoriser à l'heure actuelle sur la base des indicateurs choisis. De plus les données drones permettent d'isoler une donnée supplémentaire à l'avion : la hauteur de végétation, permettant la création d'un modèle numérique de surface. Ces données pourraient être intéressantes pour un suivi en saison du développement végétatif.

Afin de compléter la comparaison de ces deux technologies, il serait intéressant d'y intégrer les notions de réactivité de déploiement, de multi temporalité et de coût.

Conclusion

L'analyse des données sur les trois premières campagnes (2012-2014) nous a permis de répondre aux trois questions principales cherchant à valider la solution. D'abord, les deux algorithmes utilisés présentent des résultats similaires et fiables, tout en prenant en compte les spécificités viticoles, et notamment l'enherbement. Ensuite, la pesée des bois de taille est l'indicateur le mieux corrélé aux cartes produites ; les conseils agronomiques associés devront donc s'appuyer sur ce dernier. Enfin, contrairement à ce que nous avons envisagé, la technologie drone n'apporte pas de gain de précision manifeste par rapport à l'avion en termes de corrélation avec les indicateurs étudiés. Par contre, les cartes fournies par le drone sont aussi précises que l'avion et des avantages du drone non quantifiés dans l'étude laissent envisager qu'il existe à la fois une marge de progression avec ce vecteur et de nouvelles applications tout au long de la saison.

De manière globale, des interrogations persistent quant à la répétabilité des résultats et la modulation des conseils agronomiques pouvant accompagner la réalisation des cartes NDVI au cours de la saison végétative. C'est pourquoi une ultime campagne d'acquisitions et d'analyses a été réalisée en 2015 avec pour objectif d'affiner ces derniers aspects.

Aujourd'hui, la solution Vitidrone issue de ce projet apporte donc aux viticulteurs des cartes de vigueur de haute résolution. Les validations agronomiques réalisées permettent leur interprétation en fixant les limites de celle-ci.

Références bibliographiques

CHAMPAGNOL F., 1984. *Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale.*

MARGUERIT E. et al. 2006. *La télédétection à haute résolution pour spatialiser les variations intra-parcellaires de la vigueur de la vigne.*

MURISIER F., 1996. *Optimalisation du rapport feuille-fruit de la vigne pour favoriser la qualité du raisin et l'accumulation des glucides de réserve.* Thèse de doctorat, ETH Zürich, 132p.

Remerciements

Les partenaires du projet tiennent à remercier les châteaux ayant mis à disposition des parcelles pour la réalisation de l'étude ainsi que le conseil régional d'Aquitaine pour son soutien financier.

MODULATION DE LA FERTILISATION, DE L'ENHERBEMENT ET DE LA TAILLE AVEC LE CAPTEUR "PHYSIOCAP®"

O. Garcia¹, S. Debuissou¹, C. Monget¹, D. Moncomble¹

¹Comité Champagne (CIVC), EPERNAY, France

Contact : O. Garcia. Email : olivier.garcia@civc.fr

Résumé

Un capteur de bois de taille (Physiocap®) a été conçu et développé par le CIVC. Physiocap® est un capteur embarqué utilisé pendant la saison de dormance pour caractériser la biomasse de la vigne en mesurant la section des sarments et leur nombre. Le capteur peut cartographier la variabilité spatiale intra-parcellaire, inter-parcellaire et inter-annuelle. Il est aujourd'hui adopté par de nombreux acteurs de la filière en Champagne et en France. Il permet d'adapter les pratiques de taille, de fertilisation et d'enherbement, en fonction des objectifs de récolte désirés.

Mots clés: Physiocap®, hétérogénéité, gestion de la taille, fertilisation, enherbement.

Introduction

La taille de la vigne, effectuée chaque année, permet d'agir sur sa vigueur et son expression végétative. Ces deux paramètres impactent fortement la quantité et la qualité des raisins produits. En hiver, la mesure des poids de bois de taille est une pratique agronomique reconnue par la filière viticole pour caractériser l'expression végétative des parcelles, mais peu pratiquée par les viticulteurs en raison de sa pénibilité et de son temps de mise en œuvre. Le capteur Physiocap®, inventé par le Comité Champagne (CIVC), est un capteur optique capable de mesurer la section des bois et leur nombre. Le traitement des données permet de visualiser l'hétérogénéité spatiale existante afin de la prendre en compte pour moduler les pratiques de taille, d'enherbement et de fertilisation. L'objectif de cet article est de présenter ce capteur, pouvant avantageusement remplacer la mesure agronomique des bois de taille, de par sa facilité d'utilisation et le fait qu'il fournit les deux composantes unitaires de cette biomasse que sont le nombre et le diamètre des bois.

Matériel et méthodes

Fonctionnement du capteur Physiocap®

Le capteur Physiocap® est un système d'acquisition de données géolocalisées, embarqué sur machine mobile, fournissant des mesures prises sur les bois de taille de la vigne au cours de la période de repos végétatif (absence de feuilles). Le système est composé d'un micromètre laser, d'un GPS et d'un boîtier d'acquisition de données pouvant être monté sur tout type de machine mobile. La mesure peut être réalisée en parallèle de travaux viticoles (prétaille). Le micromètre laser est composé d'un émetteur et d'un récepteur positionnés face à face, au-dessus du fil lieu (Figure 1). La mesure des diamètres de bois passant dans le champ laser est instantanée, indépendante de la vitesse d'avancement et indépendante de la distance des bois par rapport au capteur. Au final, le capteur Physiocap® fournit une information de section et un comptage du nombre de bois, chaque seconde. A partir de ces deux paramètres, un calcul permet d'estimer la biomasse (Coussy ; 2013).



Figure 1 : capteur, montage sur chenillard et mesure sur taille chablis en Champagne.

Description de la parcelle d'étude de la variabilité intra-parcellaire

La parcelle d'étude, dite parcelle « terroir », fait partie du domaine expérimental de Plumecoq, situé à Chouilly, dans la Marne. Elle s'étend sur 0,7 hectares, est divisées en trois blocs selon la pente et est plantée en carré latin avec les trois cépages majoritaires de Champagne (Chardonnay, Pinot noir et Meunier). L'hétérogénéité de la parcelle a été mesurée grâce au capteur Physiocap®, au cours des hivers 2011/2012 à 2015/2016.

Description du secteur d'étude inter-parcellaire

Un secteur d'étude de 300 hectares, situé sur les communes de Chavot-Courcourt, Courcourt et Monthelon (Marne), a été choisi pour étudier la variabilité inter-parcellaire mesurée par le capteur Physiocap®. Le but est de développer l'arborescence décisionnelle aval au capteur, en se projetant dans la situation d'un vigneron dont l'exploitation est composée de parcelles disjointes et souhaitant raisonner la gestion de son parcellaire en fonction d'indicateurs objectifs. Neuf parcelles réparties sur le secteur ont été mesurées chaque hiver depuis 2013-2014. Ces 9 parcelles représentent un éventail de situations champenoises vis-à-vis de l'encépagement, de l'exposition, des types de sols et de la pente.

Description de la parcelle d'étude inter-annuelle

Cette parcelle d'étude, dite parcelle « collection Meunier » fait également partie du domaine expérimental de Plumecoq. Elle couvre une surface de 0,4 hectares, et est divisée en plusieurs blocs. L'encépagement est constitué d'une collection de clones de Meunier. La plantation date de 2007. La parcelle a été conduite de manière homogène depuis sa plantation. La parcelle montrant une certaine hétérogénéité intra-parcellaire, confirmée par la mesure Physiocap® effectuée au cours de l'hiver 2011-2012, il a été décidé d'adapter l'apport d'engrais en fonction des zones déterminées cartographiquement. Lors des apports du printemps 2012 et 2013, le conducteur du tracteur apportant les fertilisants a adapté la vitesse d'avancement afin d'effectuer un apport différentiel en fonction des zones. L'engrais apporté sous forme de bouchons est de type organo-minéral, et se minéralise donc en grande partie au cours de l'année d'apport.

Résultats et discussion

Etude de la variabilité intra-parcellaire

La figure 2 montre l'amplitude de la variabilité intra-parcellaire de la parcelle « terroir » pour le paramètre biomasse, mais également pour ses deux composantes constitutives que sont le nombre de sarments par m² et la section moyenne, pour la saison de taille 2013/2014. Nous constatons que, systématiquement, le haut de la parcelle présente des valeurs plus faibles que le bas. Le nombre de sarments par m² varie du simple au double et le diamètre de 20%. Conséquence de la variabilité des deux précédentes variables, la biomasse varie quant à elle quasiment du simple au triple (figure 2).

Ces cartes sont très parlantes lorsqu'elles sont confrontées à la connaissance empirique des parcelles qu'a le vigneron. Elles constituent un intéressant support d'échange, facile d'accès pour l'ouvrier comme pour le responsable technique.

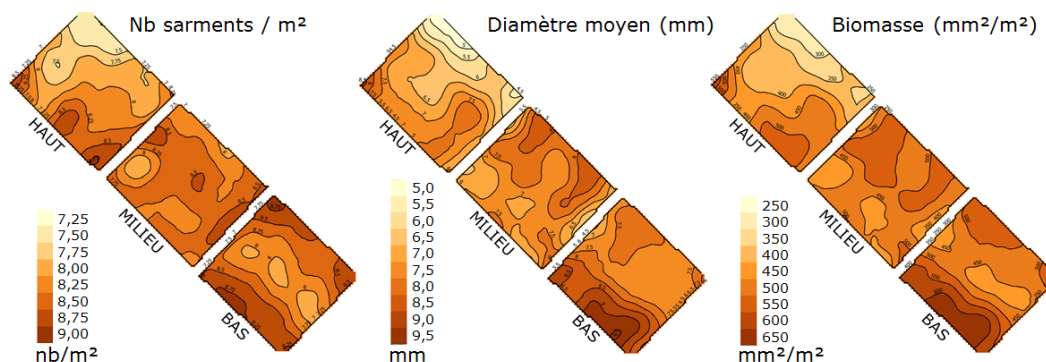


Figure 2 : cartographies de la variabilité intra-parcellaire du nombre de sarments/m², de la section moyenne des bois et de la biomasse, mesurés par Physiocap[®] au cours de la saison de taille 2013/2014.

L'hétérogénéité intra-parcellaire est principalement expliquée par la position altitudinale sur le coteau. On observe un gradient altitudinal de biomasse décroissant. La biomasse mesurée dans le bloc du bas est toujours supérieure au bloc du milieu, elle-même supérieure au bloc du haut. Cela s'explique par les différences d'itinéraire hydrique de haut en bas. Le haut de la parcelle s'assèche plus vite que le bas, du fait des transferts latéraux qui retardent la survenue d'épisodes de contrainte hydrique sur le bas (Eteneau 2010). L'étude objectivée par la mesure Physiocap[®] montre qu'une hiérarchisation des zones « haut », « milieu » et « bas » du coteau se vérifie chaque année, malgré des conditions pédoclimatiques présentant des variations interannuelles fortes. Le capteur Physiocap[®] permet donc d'établir une caractérisation fonctionnelle de la parcelle en se basant sur la plante en tant qu'intégrateur du milieu et propose ainsi une nouvelle méthode de caractérisation du terroir.

Etude de la variabilité inter-parcellaire

La figure 3 montre comment l'utilisation de Physiocap[®] permet de gérer les objectifs de rendement et de vigueur à l'échelle d'une exploitation viticole, en se basant sur l'observation de la variabilité inter-parcellaire. Ce type de raisonnement est transposable sur de petites exploitations, comme sur les plus grandes Maisons de champagne devant gérer plusieurs centaines voire milliers de parcelles. La suite du paragraphe propose une analyse de plusieurs cas types sur cette exploitation virtuelle. Une parcelle trop vigoureuse, développant une biomasse excessive, engendre souvent une récolte de moindre qualité (baisse de maturité, botrytis). Afin de réduire la vigueur et le nombre de sarments, il pourra être envisagé un arrêt des fertilisations et l'application d'une contrainte azotée à travers l'implantation d'un couvert enherbé concurrentiel pour les parcelles #3, #6, #7, #8 et #9. Au contraire, une parcelle de faible vigueur s'affaiblira progressivement si on laisse trop de bourgeons à la taille (parcelle #1). On pourra alors envisager de raccourcir la taille afin de répartir la biomasse potentielle sur moins de bois la saison suivante. On voit le résultat que peut donner cette action, sur les mesures effectuées sur la parcelle #2. Pour ces 2 parcelles, on pourra apporter progressivement une fertilisation adaptée, permettant de conserver la vigueur retrouvée pour ensuite pouvoir allonger progressivement la taille et augmenter le rendement vers un objectif fixé. La parcelle #5 est intéressante car la vigueur est forte et le nombre de bois faible. La taille pourrait être allongée afin de répartir la biomasse potentielle sur plus de bourgeons, qui donneront donc des bois de moindre vigueur. On augmenterait ainsi le rendement, tout en abaissant le risque botrytis. Voilà le type de

raisonnement que l'on peut tirer de l'utilisation du Physiocap® à l'échelle d'une exploitation. Ces informations seront bien évidemment à croiser avec les autres paramètres décisionnels comme l'analyse de terre ou les suivis de maturation et de rendement, mais il apparaît que les décisions concernant les pratiques de taille, de fertilisation ou d'enherbement pourront être largement guidées par cet outil.

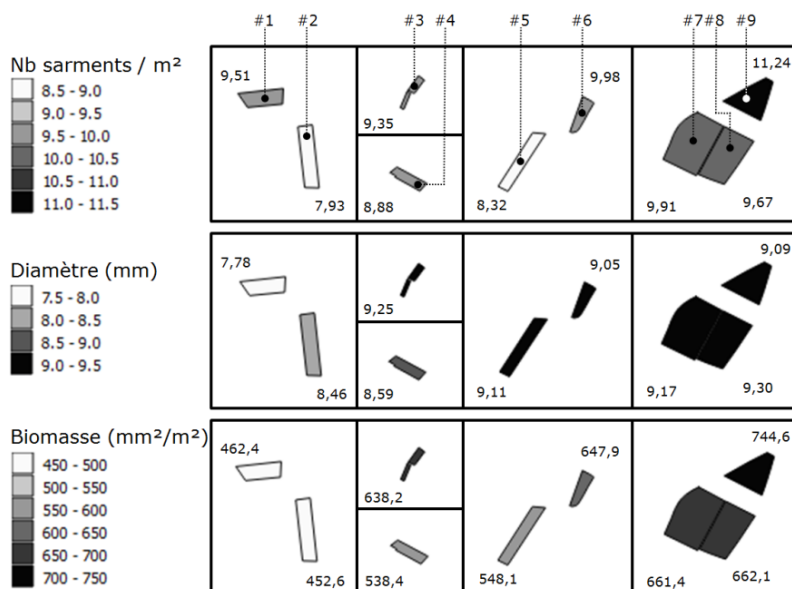


Figure 3 : valeurs moyennes des trois paramètres nombre de sarments, diamètre et biomasse pour chaque parcelle d'une exploitation viticole virtuelle.

Etude de l'évolution interannuelle

Un grand intérêt de la mesure par capteur est la répétabilité (Coussy ; 2013), l'objectivité, et la possibilité d'archiver plusieurs années de mesures. Avant Physiocap®, ni la pesée de bois de taille, ni l'observation humaine, ne permettaient réellement de suivre l'évolution diachronique de l'équilibre physiologique d'une parcelle. Le suivi interannuel va permettre de suivre l'impact du climat et de l'adaptation des pratiques d'enherbement, de taille ou de fertilisation. Par exemple, la figure 4 montre l'évolution, de fin 2011 à fin 2013, du paramètre biomasse pour la parcelle « collection Meunier ». On observe en fin de saison 2011, une certaine hétérogénéité intra-parcellaire, pour ce paramètre mais également pour les paramètres vigueur et nombre de sarments, non présentés ici. Lors de l'apport des fertilisants, début 2012 et début 2013, la vitesse du tracteur apportant l'engrais, a été ralentie sur les zones les plus faibles, et accélérée sur les zones les plus fortes. Ce moyen simple, bien qu'artisanal, d'adapter les doses d'engrais, a permis de réduire la variabilité, en deux ans seulement, en ne jouant que sur le levier de la fertilisation. Le ratio de la valeur de la zone la plus élevée sur la valeur de la zone la plus faible, passe ainsi de 2,50 à 1,89 pour la biomasse, de 1,30 à 1,18 pour la vigueur et de 1,80 à 1,62 pour le nombre de sarments, entre fin 2011 et fin 2013. Le futur développement d'épandeurs d'engrais, capables d'adapter la dose en fonction des cartographies, permettra un arrêt total des fertilisants sur les zones vigoureuses et un apport augmenté dans les zones faibles. On se place bien entendu dans le cas où la diminution de la variabilité intra-parcellaire est recherchée.

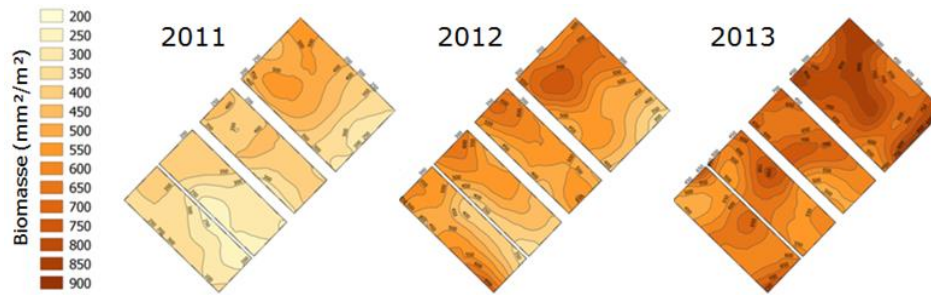


Figure 4 : évolution pluriannuelle de la biomasse sur la parcelle « collection Meunier ». Les apports fertilisants ont été adaptés en fonction de zones déterminées par cartographie.

Conclusion et perspectives

Physiocap® est un outil novateur qui apporte une nouvelle vision du développement végétatif de la plante et qui se montre pertinent pour aider le responsable de vignoble à prendre ses décisions en termes de fertilisation, de taille et d'enherbement des parcelles. L'édition de cartes, ou de graphiques, dont les données ont un fort lien avec le terrain, permet de partager sur des bases objectives, quantitatives et exhaustives avec tous les acteurs de la filière. Les étapes à venir concernent l'établissement de bases de données de référence permettant d'établir des règles de décision, notamment à travers la quantification progressive de la réponse du végétal, aux adaptations de la taille, de la fertilisation et de l'enherbement. L'outil s'adresse donc aux plus grosses structures de négoce, possédant plusieurs tracteurs pouvant être équipés, et disposant en interne d'un service R&D capable de traiter la donnée, ainsi qu'aux vigneron indépendants qui pourront faire appel à des prestataires, aussi bien pour le passage du capteur lors d'opérations de prétaille, que pour le traitement des données, voire pour le conseil agronomique qui en découle. Ce type d'outils lève aujourd'hui beaucoup de questions et constitue une très bonne base de discussion agronomique. La machine ne doit pas remplacer l'homme mais peut l'aider à comprendre pour mieux décider.

Bibliographie

- COUSSY R.** 2013. Evaluation de la vigueur de la vigne et analyse de sa variabilité inter et intra-parcellaire à partir d'un capteur embarqué mesurant les bois de taille, Mémoire d'ingénieur. Montpellier SupAgro, p17.
- DEBUISSON S., MORLET M., PANIGAI L., MONCOMBLE D.** 2012(a). Avancées en viticulture de précision, incidence sur la pulvérisation. AFPP – CIETAP.
- DEBUISSON S., MORLET M., GERMAIN C., GARCIA O., PANIGAI L., MONCOMBLE D.** 2012(b). Utilisation de capteurs embarqués pour cartographier la variabilité de la vigne et caractériser les itinéraires culturaux. IXe congrès des Terroirs vitivinicoles, Dijon et Reims, France.
- ETENEAU E.** 2010. Etude spatio-temporelle du fonctionnement d'une parcelle de vigne en Champagne. Mémoire d'ingénieur. Montpellier SupAgro, p32.
- GERMAIN C., GEORGET C., GARCIA O., DESCOTES A., PANIGAI L., MONCOMBLE D.** 2010. Fertilisation et entretien des sols : quelles sont les conséquences agronomiques de nos pratiques sur le long terme ? Le Vigneron Champenois, mars 2010, n°3, 29-63.
- TISSEYRE B., SAUCIER J.** 2008. An overview of methodologies and technologies for implementing precision agriculture in viticulture. Actes des XII congresso Brasileiro de viticultura e enologia, 45-54.
- TISSEYRE B., TAYLOR J.** 2005. Viticulture de précision : variabilité spatiale et stabilité temporelle des paramètres quantitatifs à un niveau intra-parcellaire. Le progrès agricole et viticole, 22, 481-487.

VALIDATION AGRONOMIQUE ET ADAPTATION DU CAPTEUR PHYSIOCAP® EN GIRONDE

S. Mary¹, D. Granger¹, G. Darrieutort¹, JP. Roby², C. Laveau¹

¹ Vitinnov, 1 cours du général De gaulle, 33170 Gradignan

² Bordeaux Sciences Agro, 1 cours du général De gaulle, 33170 Gradignan

Contact : Séverine Mary. Email : severine.mary@agro-bordeaux.fr

Le Physiocap® est un capteur développé par le Comité Interprofessionnel des Vins de Champagne. C'est un système d'acquisition de données géolocalisées embarqué sur une machine (enjambeur, chenillard,...) fournissant des informations sur les bois de taille. En période hivernale et donc en absence de feuilles, il permet de compter le nombre de sarments et de mesurer leurs diamètres permettant ainsi d'estimer un indice de biomasse. Le capteur est composé d'un laser comportant un émetteur et un récepteur et chaque fois qu'un sarment passe devant le faisceau, celui-ci est rompu. La section d'interruption du laser correspond à la section du rameau et est assimilée à son diamètre. Le Physiocap® est recommandé pour raisonner les pratiques de taille, de fertilisation et d'enherbement de la vigne dans le cadre d'une gestion inter ou intra-parcellaire (Le vigneron Champenois, décembre 2014). Il a été validé en Champagne et est maintenant commercialisé par différents distributeurs. La validation agronomique n'a cependant pas été réalisée dans d'autres régions viticoles en prenant les spécificités parcellaires de chacune d'elles : densités, cépages, modes de taille et modes de conduite...

En 2014 et 2016, Vitinnov a réalisé des campagnes de mesure afin de participer à la validation agronomique de ce capteur dans le vignoble bordelais.

Méthodologie

En 2014, au sein d'un premier château (château A) sur 2 parcelles de Cabernet-Sauvignon voisines mais de densités différentes, 40 placettes ont été positionnées. Sur la première parcelle (A_CS1), les 20 placettes sélectionnées comportaient 10 ceps. Sur la seconde parcelle (A_CS2), 20 placettes de 10 ceps ont également été positionnées et ont toutes été couplées à 20 placettes supplémentaires de 20 ceps. Le CIVC a réalisé le passage du Physiocap® installé sur un chenillard tel qu'il a été validé en Champagne. Des acquisitions individuelles ont été réalisées sur chaque placette ainsi qu'une acquisition globale sur toute la parcelle.

En 2016, les tests ont été effectués sur 2 parcelles d'un château B (1 parcelle de Cabernet-Sauvignon B_CS et 1 parcelle de Merlot noir B_Mn). Sur chacune des 2 parcelles du château B, 30 placettes de 20 ceps ont été positionnées et sur chaque placette, il y a eu 2 acquisitions différentes avec le Physiocap®. Pour le premier passage, le Physiocap® a été installé sur un tracteur dans une configuration telle qu'elle est pratiquée en prestation et le second passage a été effectué avec un Physiocap® monté sur un portique portatif mis au point par l'IFV de Bordeaux pour une utilisation sur des dispositifs de recherche (passage en mode piéton).

En 2014 et en 2016, sur chaque placette, les rameaux ont été dénombrés puis des pesées de bois de taille ont été réalisées. Les données acquises par le capteur ont été filtrées manuellement avec suppression des rameaux inférieurs à 3 mm et supérieurs à 25 mm (suppression des données aberrantes, ne pouvant pas être assimilées à la mesure d'un rameau). Les analyses ont porté sur la relation (évaluée par régression linéaire) entre le nombre de rameaux comptés manuellement et le nombre de rameaux détectés par le Physiocap® ainsi que sur la relation (évaluée par régression

linéaire) entre les pesées des bois de taille et l'indicateur de biomasse estimé par le capteur. Le coefficient de détermination R^2 est un indicateur permettant de juger de la qualité d'une régression linéaire. Sa valeur est comprise entre 0 et 1 et il mesure l'adéquation entre les données du Physiocap® et les données de comptage manuel et de pesée. Plus la valeur du coefficient de détermination est proche de 1, plus la relation entre les mesures est bonne.

Résultats

Les résultats présentés portent uniquement sur les parcelles de Cabernet-Sauvignon (A_CS1, A_CS2, B_CS) et les passages du Physiocap® installé sur un tracteur (B_CS) ou sur un chenillard (A_CS1 et A_CS2).

La figure 1 présente les graphiques des régressions linéaires entre les nombres de sarments comptés par le Physiocap® et ceux comptés manuellement pour les 2 parcelles de Cabernet-Sauvignon du château A. En figure 2, ce sont les graphiques des régressions linéaires entre l'indice de biomasse estimé par le Physiocap® et les pesées de bois de taille qui sont représentés pour les mêmes parcelles.

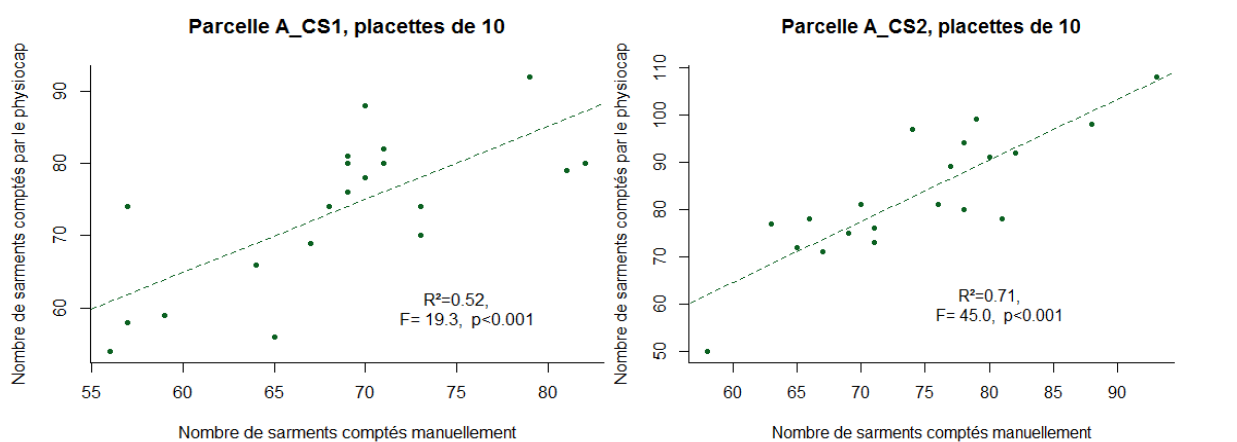


Figure 1: Relation entre le nombre de sarments comptés par le Physiocap® (sur chenillard) et les sarments dénombrés manuellement sur château A en 2014

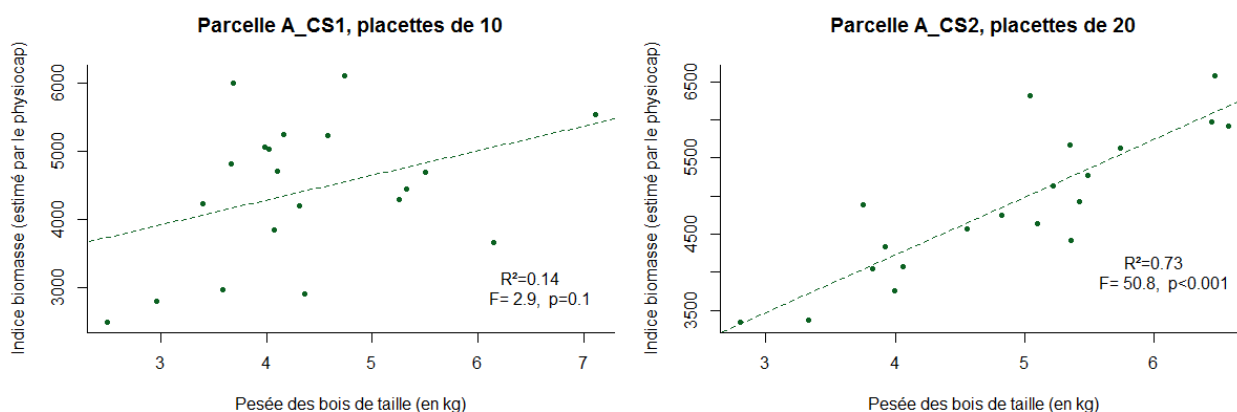


Figure 2: Relation entre l'indice de biomasse estimé par le Physiocap® (sur chenillard) et les poids de bois de taille sur château A en 2014

Pour les 2 parcelles de Cabernet-Sauvignon du château A, la relation entre le nombre de rameaux détectés par le Physiocap® et le dénombrement manuel est moyenne (A_CS1, $R^2=0.52$) à bonne (A_CS2, $R^2=0.71$). Dans les 2 cas, le Physiocap® dénombre plus de rameaux que le comptage manuel. Concernant l'indice de biomasse estimé par le Physiocap®, il est mal corrélé aux pesées de bois de taille sur la parcelle A_CS1 ($R^2=0.14$, relation non significative). Par contre, la relation est bonne pour la parcelle A_CS2 avec une relation très significative et un R^2 de 0,73.

Les corrélations avec les données agronomiques sont donc très bonnes sur la parcelle A_CS2. Elles le sont moins sur la parcelle A_CS1 sans qu'il y ait une explication simple à cela.

Ces analyses ont été réalisées pour chaque parcelle et chaque indicateur. Le tableau 1 présente les coefficients de détermination pour toutes les parcelles et chacune des 2 relations testées.

Tableau 6 : Relation entre les mesures réalisées par le Physiocap® (nombre de sarments et indice de biomasse) et les comptages de rameaux effectués manuellement et les pesées de bois de taille (coefficient de détermination : R^2)

Parcelle	nb de ceps par placette	Nb de sarments physiocap / comptage manuel	Indice de biomasse physiocap / poids des bois
A_CS1	10	0.52	0.14
A_CS2	10	0.71	0.73
A_CS2	20	0.49	0.89
B_CS	20	0.37	0.57

Pour le dénombrement des sarments, les relations entre comptages manuels et par le Physiocap® sont très variables entre les 4 parcelles étudiées. Les relations sont significatives pour ces 4 parcelles mais la qualité de la relation est très variable, allant de moyenne pour la parcelle B_CS (placette de 20 ceps), A_CS1 (10 ceps), A_CS2 (20 ceps) à bonne pour la parcelle A_CS2 (placettes de 10 ceps) avec un coefficient de détermination R^2 de 0,71. De plus, on observe que sur certaines parcelles le capteur surestime le nombre de rameaux (A_CS1 et A_CS2) tandis que sur d'autres parcelles, il le sous-estime (B_CS). Il est possible que la hauteur du capteur et sa stabilité lors du passage du Physiocap® impacte sur le comptage des rameaux. De même, lors du comptage manuel, la hauteur à laquelle sont comptés les rameaux doit être fixe et similaire à celle du capteur. La variabilité de la hauteur des 2 comptages (manuel et Physiocap®) peut en partie expliquer les différences observées entre les parcelles. La qualité du relevage ainsi que la personne ayant effectué ce travail peuvent donc très probablement impacter sur les mesures du Physiocap®. Le Cabernet-Sauvignon étant un cépage avec un port érigé, des comparaisons avec d'autres cépages seraient à réaliser pour vérifier cette hypothèse. Sur la parcelle A_CS2 deux longueurs de placettes avaient été couplées (soit 10 ceps de long soit 20 ceps de long) afin de déterminer si la relation s'améliorait en augmentant le nombre de mesures (l'erreur ponctuelle pourrait être atténuée par le grand nombre de points pris par un capteur). Or la relation n'est pas améliorée en augmentant la taille des placettes de mesures. Au contraire la meilleure relation est obtenue avec les placettes les plus petites ($R^2 = 0,71$ avec des placettes de 10 ceps de long contre $R^2=0,49$ pour des placettes de 20 ceps de long).

Pour les relations entre indices de biomasse et poids des bois de taille, les résultats présentent une variabilité plus importante entre les parcelles que pour le dénombrement des rameaux. Les R^2 varient entre 0,14 et 0,89. La parcelle A_CS1 présente la plus faible relation entre indice de biomasse et pesée de bois de taille alors que la A_CS2 montre de très bonnes relations entre les valeurs ($R^2=0,73$ pour les placettes de 10 ceps et $R^2=0,89$ pour les placettes de 20 ceps). La relation est moyenne sur la parcelle B_CS ($R^2=0,57$). Par contre, pour l'indice de biomasse, l'augmentation du nombre de ceps sur les placettes permet d'améliorer la relation. Pour calculer l'indice de biomasse, le capteur mesure une section de rameau qui est ensuite assimilée au diamètre de celui-ci. Par conséquent, la hauteur de passage du capteur va également influencer fortement sur les sections de rameaux mesurées donc sur l'indice de biomasse estimé par le Physiocap®. Les différences de stabilité lors des passages pourraient expliquer la grande variabilité entre les parcelles. Enfin, le port des rameaux peut également impacter l'estimation de l'indice de biomasse. En effet, sur les parcelles présentant des rameaux avec un port plus érigé, on peut supposer que la section des sarments mesurée par le laser sera plus proche du diamètre réel du sarment et que sur ces parcelles l'indice de biomasse sera mieux estimé par le Physiocap®.

Le petit nombre de parcelles suivies lors des deux campagnes d'acquisition dans le Bordelais constitue des résultats préliminaires qui bien qu'insuffisants invitent à la poursuite de ces travaux.

Conclusion

Le Physiocap® apparaît comme un capteur intéressant de par ses résultats en Champagne et son accessibilité en termes d'acquisition et d'interprétation mais des travaux de validation et d'adaptation pour la région bordelaise sont encore nécessaires. Nos résultats montrent une grande variabilité dans les relations entre les mesures effectuées par le Physiocap® et les comptages manuels / pesées de poids de taille. Plusieurs hypothèses ont été émises afin d'expliquer ces différences mais des travaux supplémentaires seraient nécessaires pour mieux comprendre les facteurs jouant sur la qualité des relations.

Des adaptations du capteur semblent encore nécessaires dans le bordelais pour s'assurer de bonnes relations entre les données acquises par le Physiocap® et les valeurs agronomiques. Cette phase semble indispensable avant de passer à l'étape d'établissement de règles de décisions solides pour les adaptations de la taille, de la fertilisation et de l'enherbement.

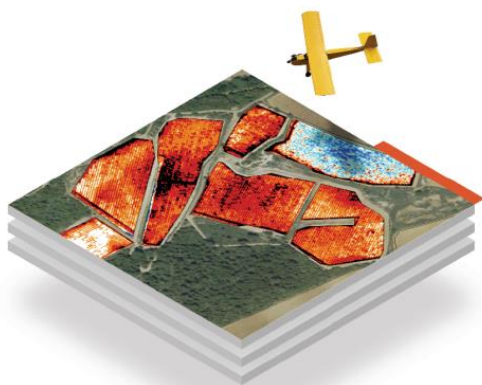
Remerciements

Vitinnov tient à remercier le CIVC pour sa collaboration et l'acquisition des mesures en 2014, l'IFV Bordeaux pour le prêt du Physiocap® portable en 2016 ainsi que les châteaux ayant mis des parcelles à disposition et plus particulièrement le château nous ayant transmis des données prises par un Physiocap® embarqué en 2016.



FRUITION ANALYTICS

Un outil essentiel pour collecter, intégrer et analyser toutes les données relatives au vignoble



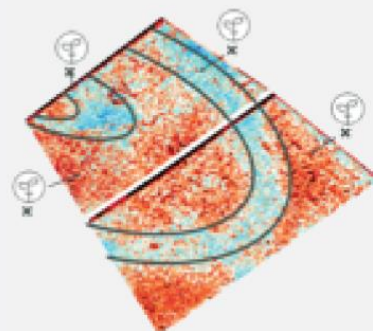
NDVI

Comprendre votre variabilité parcellaire et raisonner vos vendanges



SMART POINT

Suivre des zones stratégiques et optimiser le potentiel de votre terroir



UTILISATION DES IMAGES AERIENNES POUR DETERMINER LA POROSITE FOLIAIRE DE LA VIGNE

D. Noll¹ et S. Burgos²

¹Changins haute école de viticulture et d'œnologie 1260 Nyon Suisse

²HAFL haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires 3052 Zollikofen Suisse

Contact : Dorothea Noll. Email : dorothea.noll@changins.ch

Introduction

Le développement ces dernières années de la viticulture de précision permet l'avènement d'un outil de gestion intéressant pour les viticulteurs. L'identification des variations spatiales de rendement d'une parcelle permet au vigneron d'ajuster son système d'exploitation dans le but d'améliorer la qualité de ses vendanges. La hauteur de la canopée et sa densité (vigueur) sont des indicateurs mesurables par ce type d'outil.

Les objectifs de cette étude sont :

- Identifier des indicateurs présents sur les images aériennes pouvant servir à des mesures agronomiques de base
- Evaluer la précision des mesures prises par des drones

Méthodologie

L'étude a été réalisée sur deux parcelles différentes de la station de recherche Agroscope à Leytron (Valais). La première parcelle sert d'étude pour l'effet de différentes couvertures du sol et la seconde comprenant plusieurs cépages est utilisée dans le cadre d'une étude sur le stress hydrique et l'irrigation.

Pour pouvoir identifier la hauteur de la vigne et celle du couvert végétal, il faut d'abord créer un modèle numérique de terrain¹ sur la base du modèle numérique de surface² obtenu suite au vol d'un drone. Puis grâce à ces deux modèles, on obtient un modèle différentiel d'élévation. Il représente la parcelle viticole sans donnée d'altitude/élévation (sans pente). Il s'agit dès lors d'une surface plane où les reliefs représentent la végétation de la parcelle.

Deux méthodes sont utilisées pour quantifier la porosité de la canopée de la vigne. La première méthode quantifie la surface d'ombre de chaque rang de vigne. La seconde méthode compare les valeurs (hauteur de la végétation) indiquées par le modèle différentiel d'élévation.

Pour quantifier l'ombre produite par chaque rang de vigne, l'image proche infrarouge est utilisée. Ce type d'image rend l'ombre beaucoup plus contrastée que sur une image en bandes spectrales visibles. En utilisant les valeurs de l'ombre déterminée sur la bande spectrale proche infrarouge, il est possible d'extraire les pixels d'ombre d'une image (Figure 1). Cette méthode est efficace lorsque l'ombre est clairement définie et qu'il existe une différence de porosité dans le feuillage.

¹ Le MNT décrit la surface terrestre en trois dimensions sans végétation ni constructions.

² Le MNS reproduit la forme de la surface terrestre en incluant tous les éléments permanents et visibles du paysage tels que le sol, la végétation, les forêts, les bâtiments et les autres ouvrages d'art.

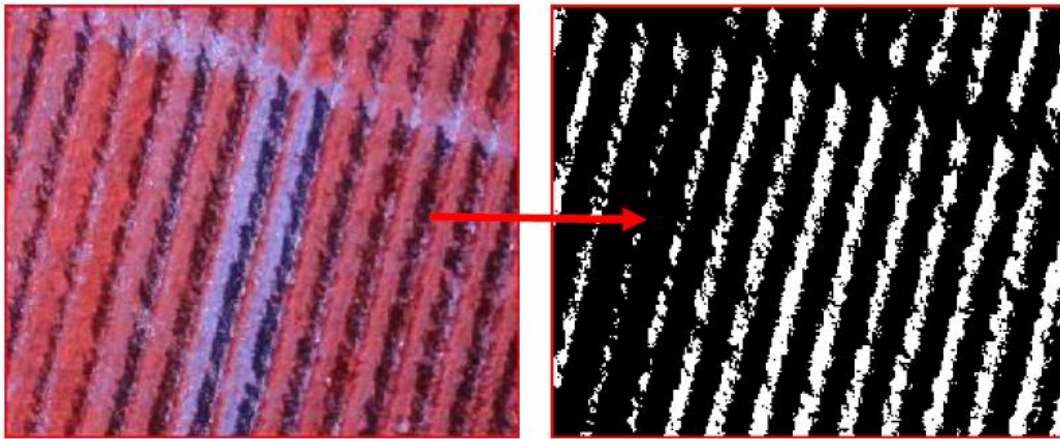


Figure 1 : Orthomosaïque de base en proche infrarouge puis extraction des pixels d'ombre en blanc et sans ombre en noir.

La seconde méthode s'appuie sur le modèle différentiel d'élévation, les rangs de vignes sont séparés en strates en fonction de la végétation. Les éléments mesurant moins de 25 cm sont écartés. Ce seuil de 25 cm est fixé par rapport à la hauteur du fil de la branche à fruit ; en dessous, nous partons du principe qu'il ne s'agit pas de la vigne. Il ne reste donc que les éléments de plus de 25cm.

Puis on associe ces résultats aux rangs de vigne préalablement dessinés (vert). Les pixels ayant une élévation relative de plus de 25 cm s'affichent en blanc alors que ceux qui ne répondent pas à ce critère sont en noir (Figure 2).

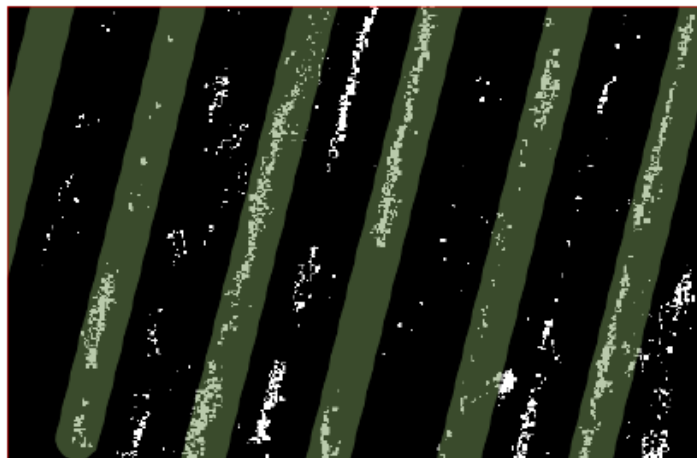


Figure 2 : Association des rangs de vigne (en vert) et des pixels ayant une élévation relative supérieure à 25 cm en blanc.

Ces données sont ensuite reliées d'une part à la quantité d'ombre de la zone et au poids des bois de taille de la zone pour évaluer la pertinence de cette méthode comme une mesure indirecte de la vigueur.

Sur la même base que la méthode précédemment expliquée, il est aussi possible d'estimer la hauteur du couvert végétal. Plutôt que de considérer les pixels de plus de 25 cm de haut, il s'agit de considérer uniquement les pixels de moins de 25 cm.

Résultats et analyses

Extraction de l'ombre

La comparaison des différents couverts montre une bonne corrélation entre l'ombre extraite sous la forme d'un nombre de pixels et les poids des bois de taille (Figure 3).

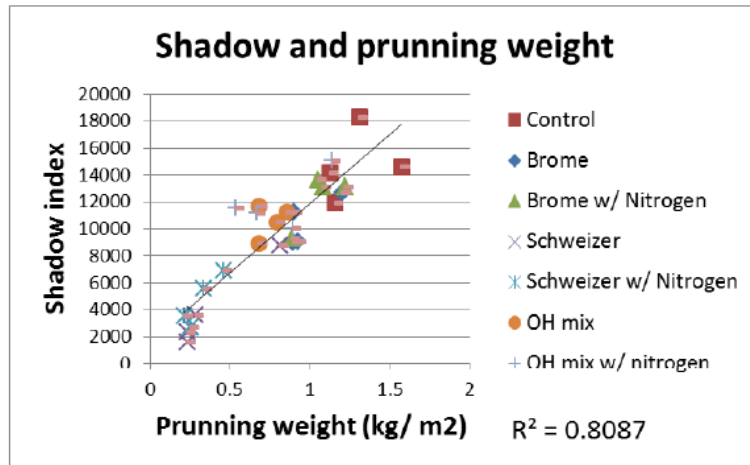


Figure 3 : Relation entre l'ombre et le poids des bois de taille

Modèle d'élévation relative

La comparaison sur la parcelle d'étude de stress hydrique des différents modes de conduite (irrigué, non irrigué ou couvert par une bâche plastique) montre que le modèle différentiel d'élévation est fortement corrélé négativement avec le potentiel hydrique foliaire lors de la véraison (Figure 4).

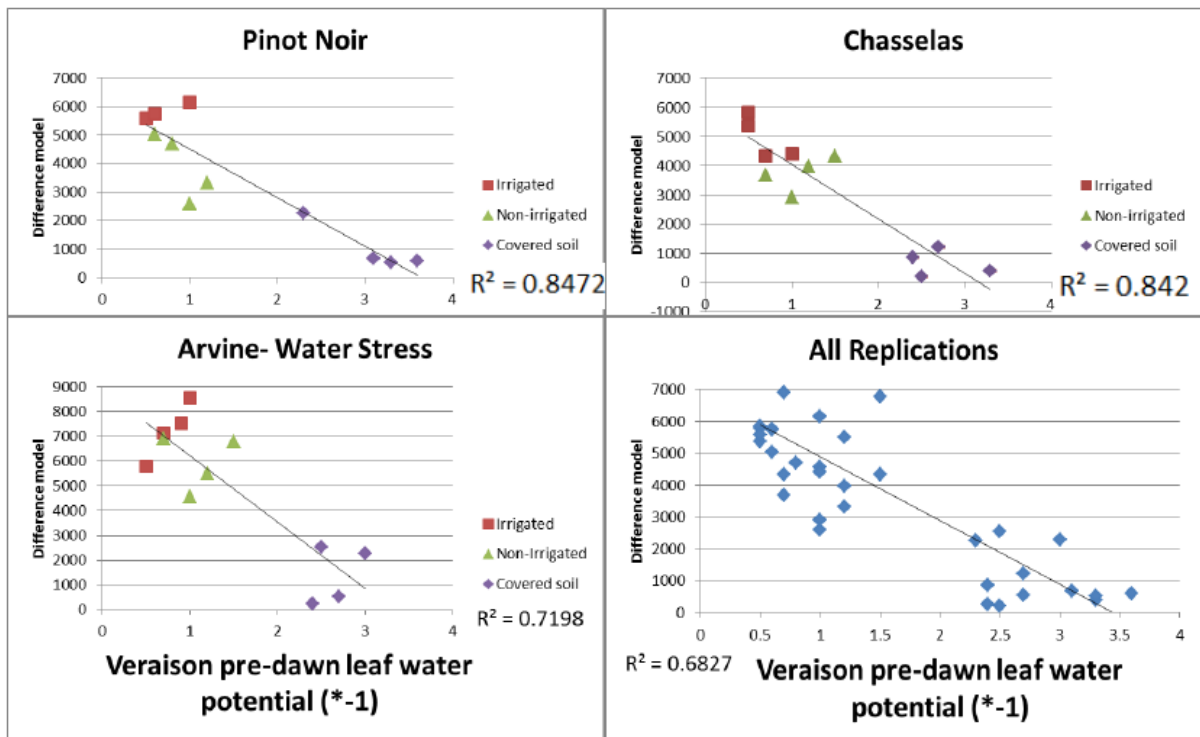


Figure 4 : Relation entre le modèle différentiel d'élévation et le potentiel hydrique foliaire durant la véraison

Limite de la méthode et perspectives

La quantification de l'ombre est un bon indicateur de la quantité de soleil interceptée par les feuilles. Ce qui est assez logique, plus il y a de feuilles, plus la haie foliaire est dense et plus il y a d'ombre. Cette méthode fonctionne car la vigne ne présentait pas une canopée fermée. La porosité du feuillage reflète donc la vigueur de la vigne. Comme les rangs ne changent pas, il est possible de refaire rapidement cette analyse chaque année ce qui accélère considérablement la vitesse des analyses. Il est aussi nécessaire que les images soient prises lorsque le soleil n'est pas trop haut car dans le cas contraire il ne serait pas possible d'observer d'ombre sur les images aériennes.

Le modèle différentiel d'élévation permet des analyses de différentes couches de végétation (vigne et couvert du sol). Sa précision doit encore être améliorée, cependant cette méthode peut être un outil de gestion du vignoble permettant par un suivi de comparer la biomasse de la vigne dans le temps.

UTILISATION DES IMAGES AERIENNES A TRES HAUTE RESOLUTION POUR DOCUMENTER DES CAS D'EROSION SUITE A DES EVENEMENTS PLUVIEUX INTENSES OU RECURRENTS

D. Noll¹

¹ Changins haute école de viticulture et d'œnologie 1260 Nyon Suisse

Contact : Dorothea Noll. Email : dorothea.noll@changins.ch

Introduction

L'érosion des sols diminue à la longue leur fertilité par la perte de particules de terre en surface. Elle peut aussi contaminer les eaux avec des sédiments fins, des éléments nutritifs, des pesticides ou encore des polluants comme le cuivre. Malgré tout cela, les problèmes liés à l'érosion ne sont généralement pas considérés comme prioritaires et les mesures prises pour les limiter sont généralement insuffisantes. De plus, il est difficile d'observer sur le terrain toutes les situations qui engendrent effectivement de l'érosion et de proposer des mesures adéquates. Les nouvelles technologies telles que l'utilisation d'images aériennes prises par des drones, couplées à l'utilisation des données radar des précipitations offrent de nouvelles possibilités pour pouvoir documenter ces situations et proposer des mesures préventives. Les objectifs de ce projet de recherche sont de :

- Développer une méthode d'analyse des précipitations permettant de localiser les zones de pluies intenses.
- Documenter des événements érosifs linéaires par des mesures de terrain et des images aériennes prises avec un drone.
- Automatiser une méthode de reconnaissance des rigoles d'érosion à l'échelle d'un agrosystème.
- Automatiser une méthode de calcul du volume d'érosion suite à un travail de comparaison avec des mesures de terrain.
- Documenter l'occupation du sol, les pratiques culturales et l'environnement parcellaire qui a subi de l'érosion.

Méthodologie

Le périmètre d'étude a été choisi de manière à être représentatif d'une grande variabilité de sols, de pratiques culturales et de structures d'exploitation. Il comprend des zones de grandes cultures et des vignes.

Les événements pluvieux intenses et leur localisation sont annoncés par un système d'alarme mis en place dans le cadre de ce projet via un e-mail. Des mesures de l'érosion sont réalisées en mesurant sur la longueur de la rigole, des sections transversales à intervalles réguliers. Sur ces sections transversales, la largeur de la rigole et sa profondeur en trois points sont mesurées.

La zone d'érosion est photographiée par un drone. Les images obtenues avec le drone doivent être traitées dans le but de calculer le volume érodé dans la zone prospectée. La méthodologie d'analyse est composée de trois étapes. 1) reconstruction d'un modèle numérique pré-érosion³ sur la base du

³ L'équivalent d'un modèle numérique de terrain qui décrit la surface terrestre en trois dimensions sans végétation ni constructions

modèle numérique de surface⁴ obtenu suite au vol d'un drone. Ceci dans le but de reconstituer un niveau surélevé du terrain qui suit toutefois le relief de la surface, 2) création d'un modèle différentiel de profondeur et 3) détection des rigoles d'érosion. Les résultats obtenus à la fin sont des mesures de profondeur d'érosion et de volume de terre érodée dans les zones affectées.

Validation de la méthodologie

La validation est effectuée selon deux aspects. D'une part la comparaison entre les mesures de terrain et le modèle différentiel de profondeur reconstruit (validation visuelle), et d'autre part la dépendance des zones classées avec ou sans rigoles entre le modèle différentiel de profondeur et la délimitation manuelle (validation de l'extraction).

Résultats et analyses

Les images de ce site d'étude situé en vigne (Figure) ont été prises en janvier 2015, durant la période de repos de la vigne.

Les zones 1 et 2 représentent des zones où de l'érosion avait été observée au préalable sur le terrain.



Figure 1 : ortho-photo du premier site d'étude avec deux zones d'érosion

Reconstruction d'un modèle de pré-érosion en vigne

La figure 2 montre les profils transversaux de trois modèles de pré-érosion basés sur un transect au niveau de la zone d'érosion 1. Ils ont été réalisés en appliquant trois filtres spatiaux différents.

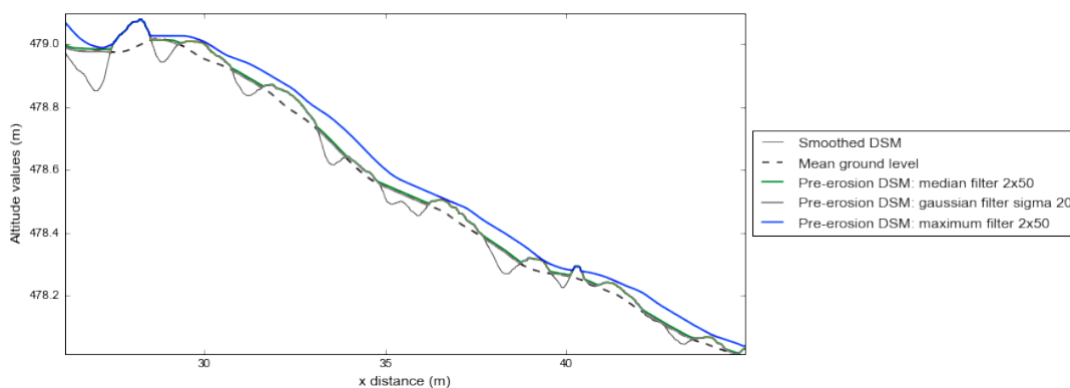


Figure 2 : Profil transversal obtenu avec trois filtres spatiaux différents

⁴ Le MNS reproduit la forme de la surface terrestre en incluant tous les éléments permanents et visibles du paysage tels que le sol, la végétation, les forêts, les bâtiments et les autres ouvrages d'art.

En fonction du filtre spatial appliqué, les rigoles d'érosion sont plus ou moins visibles (Figure 3). Le filtre maximum considère bien les rigoles, cependant il surestime un peu les zones sans rigoles (partie grise sur le schéma). Le filtre médian met bien en évidence les rigoles plus profondes mais le reste de la surface est un peu plus floue.

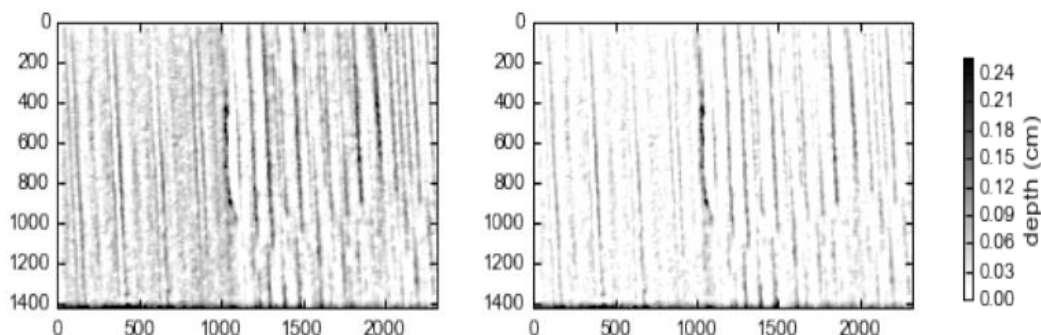


Figure 3 : De gauche à droite, modèles différentiels de profondeur reconstruits suite à l'application de filtres spatiaux, filtre maximum (à gauche) et filtre médian (à droite).

Détection des rigoles d'érosion en vigne

Sur la base du modèle différentiel de profondeur, on détecte les rigoles potentielles (Figure 4 à gauche) qui répondent aux deux conditions suivantes : a) une différence supérieur à 3 cm par rapport au modèle de pré-érosion et b) si la dérivée est différente de zéro. Puis les pixels connectés entre eux forment les rigoles d'érosion de manière automatique (Figure 4 à droite). Cela permet de marquer les objets et ensuite de les isoler et enfin calculer leur volume.

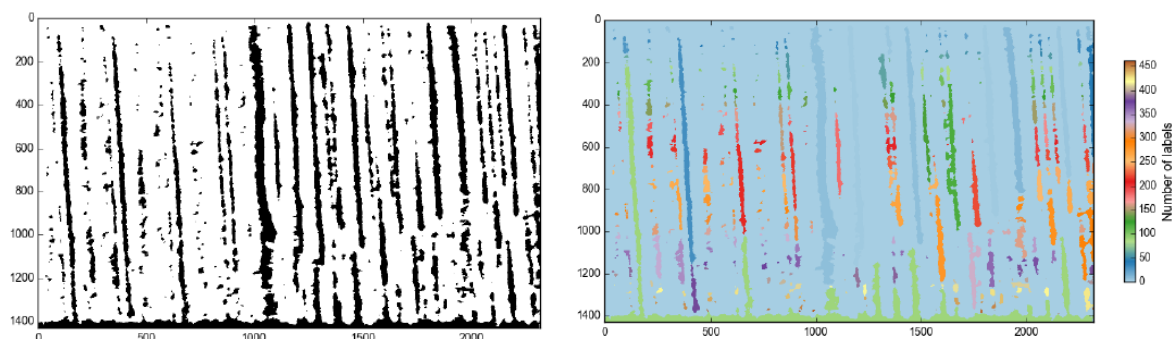


Figure 4 : à gauche, détection des rigoles potentielles (noir) ; à droite, détection des rigoles par les pixels connectés

Limite de la méthode et perspectives

La limite de la méthode serait conditionnée par la profondeur des rigoles à mesurer, car la précision des altitudes calculées ne peut pas être meilleure que la résolution des images issues du drone (1-4cm/pixel). D'autre part, la considération du modèle pré-érosion qui sert de base pour la validation du modèle différentiel de profondeurs reste contestable. De plus, la question peut se poser s'il est pertinent de considérer les mesures d'érosion prises sur le terrain comme des données justes et comparables pour valider la méthode élaborée sur la base de l'analyse des images aériennes. Si cela est le cas, une erreur autour du 10 % est commise lors du calcul du volume d'érosion. Ceci est déjà une bonne précision si on compare à l'erreur qu'on peut faire sur les mesures à la main. En outre, ces mesures directes sont lourdes à mettre en œuvre et demandent beaucoup de temps. L'optimisation à terme de cette méthode permettra de déterminer un volume de terre érodée à l'échelle d'une

parcelle ou d'une section d'un bassin versant.

Bien que les problèmes d'érosion puissent être considérés comme de moindre importance pour la production viticole, le suivi de l'érosion à plus ou moins long terme d'un vignoble permet d'identifier les pratiques culturales responsables de l'érosion dans une région donnée et celles qui la limitent, et de prendre, en connaissance de causes, les mesures nécessaires pour limiter la perte de sol, ressource quasi-non renouvelable (il faut 1 siècle pour former 1 cm de sol). Enfin, la législation suisse prévoit une réduction des contributions liées aux prestations écologiques si les terres assolées présentent d'importantes pertes de sol dues à l'exploitation. Ceci renforce l'importance accordée à la protection des sols contre l'érosion.

La viticulture de précision au service de tous.



œnoview® est un outil innovant de **téledétection** pour disposer d'une **cartographie de votre vignoble**. Simple, compétitif et pratique d'utilisation, œnoview® met à votre disposition les cartes de végétation sur votre **smartphone**.

Découvrez une solution efficace pour gagner en **rentabilité** sur vos parcelles et pour progresser sur la **qualité** de vos vins. Au-delà du suivi de votre vignoble, œnoview® est auprès de vos clients le signe de votre action innovante pour offrir des produits de qualité.

Une application facile d'emploi, simple et rapide.

Les **cartes de végétation** mesurent la répartition du feuillage sur des vignes en production, identifient les secteurs en fonction de leur vigueur. Vous pouvez ainsi orienter vos observations au vignoble, les géolocaliser, dessiner vos propres secteurs de vendanges ou de fertilisation.

Les **cartes zonées** identifient les secteurs homogènes à l'intérieur de chaque parcelle. Elles facilitent le travail de définition des secteurs pour les vendanges ou la fertilisation.

Pourquoi utiliser œnoview®?

Pour disposer d'une cartographie fiable et opérationnelle du vignoble

Dans un objectif d'amélioration de la **rentabilité** de chaque parcelle, les cartes œnoview® Start vous permettent de :

- > Mieux **comprendre** les causes de sous-production
- > **Gagner du temps** dans les observations agronomiques
- > **Economiser** les engrais et les rendre plus efficaces
- > **Optimiser** la taille

Pour améliorer la qualité des vins

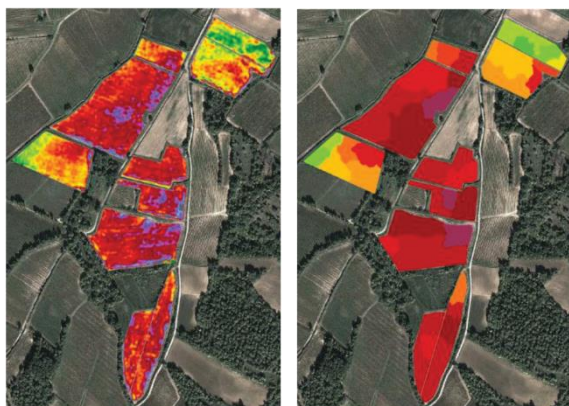
œnoview® vous fournit des données précieuses pour

- > Redéfinir les **zones de vendange**
- > Vendanger chaque secteur à **maturité**
- > Constituer des **cuves homogènes**
- > **Adapter les vinifications** à la qualité du raisin
- > Obtenir des **profils de vins** caractéristiques
- > Développer le **chiffre d'affaires**

Pour suivre l'évolution des vignes

En utilisant œnoview® dans le temps, vous pouvez :

- > Comprendre l'**effet millésime**
- > Mesurer les effets des **changements d'itinéraires** techniques
- > Ajuster les **pratiques** aux **millésimes**



Contacts: œnoview@icv.fr ou œnoview@terranis.fr



ETUDE DES VARIATIONS DE SENSIBILITE D'UN VIGNOBLE CONTRE LES PRINCIPALES MALADIES CRYPTOGRAMIQUES DE LA VIGNE : ZONAGE D'UNITES DE FONCTIONNEMENT PHYSIOLOGIQUE A PRIORI HOMOGENES

M. Raynal¹, C. Debord¹, M. Vergnes¹, B. Delfour¹, A. Bennabil¹, M. Georges², R. Fulchic², J. Servant²

¹Institut Français de la Vigne et du Vin, 39 rue Michel Montaigne 33290 Blanquefort France

²Château Léoville Las Cases, 33250 Saint Julien Beychevelle France

Contact : Marc Raynal, Email : Marc.RAYNAL@vignevin.com

Le « Plan de Traitement Optimisé » (PTO[®]), projet développé au sein de l'IFV, vise à définir une méthodologie de zonage à priori de l'iso sensibilité aux principales maladies à partir d'une approche systémique globale à l'échelle de l'exploitation viticole. A terme, l'objectif est d'élaborer une cartographie des quantités de matières actives nécessaires et suffisantes pour enrayer les développements épidémiques pour des pulvérisateurs intelligents capables de moduler les doses appliquées à l'échelle intra parcellaire. Le transfert de ces technologies vers la profession suppose une automatisation de l'intégration des différentes couches des variabilités constatées et repose donc sur l'exploitation des principes de la viticulture de précision.

Ces techniques permettent des mesures physiques géolocalisées nombreuses précises et exhaustives. L'exploitation de ces données ouvre l'accès à une analyse systémique du fonctionnement d'un vignoble à l'échelle d'une exploitation viticole. Le but de notre étude vise à tirer profit de ce type de mesures et valoriser les informations qu'elles délivrent en croisant, à l'aide d'un système d'information géographique (SIG), les différentes couches représentant des variables indépendantes et caractéristiques du système de production. L'objectif est ainsi d'établir un zonage susceptible d'expliquer les variations du développement physiologique de la vigne et, le cas échéant, d'éventuelles différences de sensibilité des plantes aux maladies. L'étude porte sur la combinaison de deux cartes du vignoble Léoville Las Cases, établies pour représenter respectivement le fonctionnement des compartiments sol et plante, par des mesures de résistivité électrique (R) et d'indice de biomasse (B). Trois niveaux – faible, moyen, fort - sont définis pour chacune de ces deux variables. La combinaison de ces indicateurs permet ainsi de définir 9 classes caractérisant des îlots, baptisés Unités de Fonctionnement Physiologique (UFP), dont la distribution est délimitée par le SIG sur l'ensemble du domaine viticole. Six UFP sont retenues pour bâtir notre observatoire après exclusion du niveau de biomasse moyen dans l'objectif de décrire des différences de comportement au plan du développement physiologique des ceps, et de leur sensibilité aux maladies. A cet effet, des observations régulières sont réalisées durant les campagnes 2014 et 2015 sur des zones traitées et non traitées de chaque UFP. Les résultats issus de ces deux premières années d'étude montrent que la clé de lecture proposée par le concept d'UFP permet de décrire des variations significatives constatées sur certains des critères physiologiques et sanitaires observés.

Dispositif étudié

L'étude est conduite sur le parcellaire du château Léoville Las Cases (LLC) situé sur la commune de Saint Julien-Beychevelle, sur une superficie de 98 hectares. Le parcellaire est constitué à 66% de Cabernet-Sauvignon, 23% de Merlot, 10% de Cabernet franc conduits en Guyot double sur des porte-greffes de type RGM, 3309C, 101-14Mgt, et 420A. L'âge moyen de plantation est de 41 ans, variant de 3 à 83 ans. Les données descriptives du parcellaire sont géoréférencées et stockées dans une base

de données couplée à un Système d'Information Géographique (SIG).

Une cartographie du vignoble est établie en 2013 à l'aide des informations relevées par le château LLC sur le domaine :

- résistivité électrique du sol, réalisée par la société Géocarta en 2006 à l'aide d'un dispositif multi électrodes
- Indice de biomasse réalisé par télédétection à l'aide d'un drone équipé d'un capteur Proche Infra Rouge (PIR) (800 nm) par la société l'Avion Jaune en août 2013, puis 2014

Trois classes - faibles, moyennes, fortes - ont été constituées pour chacune de ces deux variables selon la méthode des seuils naturels de Jenks. La maille élémentaire représente une surface de 10m², dont la combinaison détermine 9 classes à priori différentes sur la base des critères analysés.

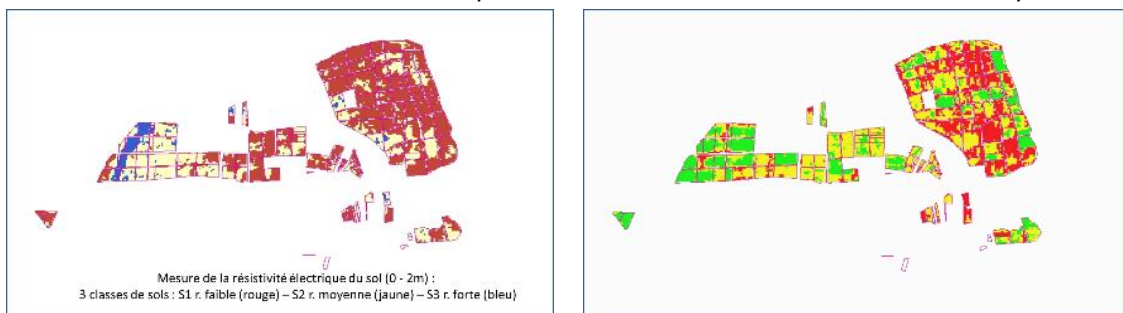


Figure 1 : représentation sur le vignoble du domaine LLC, des 3 classes de résistivité électrique du sol (gauche) et du NDVI (droite).

La délimitation des Unités de Fonctionnement Physiologique (UFP) résulte du croisement des cartes d'entrée : le zonage est constitué à partir des couches de résistivité électrique (figure 1g) et d'indice de biomasse (figure 1d), en retenant respectivement pour chacune d'elles trois et deux niveaux. La classe d'indice de biomasse moyenne est écartée au profit des deux extrêmes, de manière à simplifier la mise en œuvre du dispositif d'observation tout en accentuant la variabilité potentielle des écarts de comportement observés. Le croisement des couches d'informations offre ainsi 6 classes différentes représentant autant d'UFP réparties sur le vignoble (figure 2).

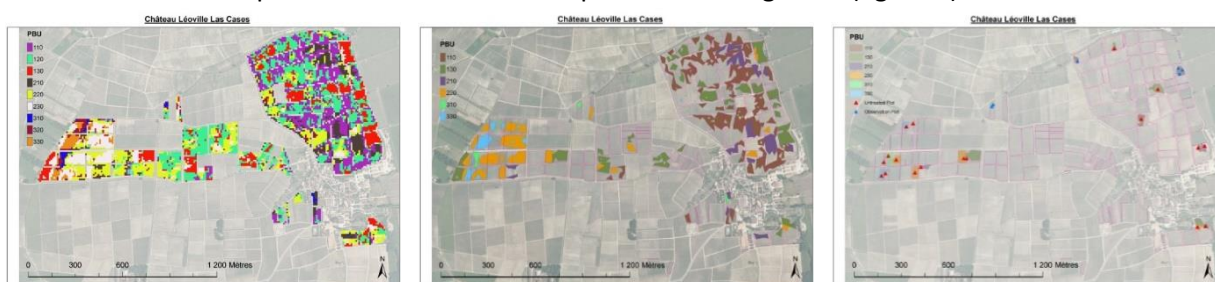


Figure 2 : localisation des zones UFP homogènes et des placettes d'observation sur les UFP retenues.

Deux répétitions des zones d'observation ont été mises en place sur chacune des UFP retenues sur notre dispositif : l'une sur « l'enclos » correspondant à la partie Est du vignoble, l'autre sur le « plateau » en zone Ouest du parcellaire. Chaque zone d'observation comporte un Témoin Non Traité (TNT) de cinq ceps ; de part et d'autre du TNT, cinq ceps situés à proximité immédiate servent de support aux observations physiologiques pour caractériser le développement du végétal sans interaction avec le développement des maladies. Au total, 24 points d'observations sont répartis sur les 6 classes d'UFP retenues pour les cépages Merlot et Cabernet Sauvignon, comme illustré dans la figure 2.

Différentes mesures sont réalisées sur ces placettes d'observation : à partir du stade pré-débourrement, des comptages réguliers portent sur les nombres de bourgeons (laissés à la taille,

débouffrés...), de rameaux fructifères et de grappes. La zone TNT est constituée de cinq ceps consécutifs protégés par une bâche lors des traitements. Les trois ceps centraux servent de support aux observations de l'état sanitaire vis-à-vis du mildiou, de l'oïdium, du black rot : une évaluation de la fréquence et de l'intensité d'attaque sur feuilles et grappes est réalisée chaque semaine jusqu'au stade de la véraison.

Résultats

Variabilité du développement de la vigne

Le suivi du développement physiologique de la vigne sur les millésimes 2014 et 2015 montre des caractéristiques propres à chaque UFP sur certains des indicateurs calculés : la production de grappes est plus importante sur les zones de biomasse élevée, et le facteur sol révèle des taux de fertilité supérieurs pour les sols S1 de faible résistivité électrique. A l'inverse, le dispositif élaboré ne révèle pas de variations significatives des indicateurs du taux de débouffrement ou du potentiel de production.

Variabilité de l'état sanitaire

Le millésime 2014 est marqué par une forte attaque du mildiou dans le courant du mois de juillet ; les niveaux d'attaque atteignent en moyenne près de 30% d'intensité de destruction de feuillage et 25% de fréquence de grappes atteintes en fin de saison. Les niveaux d'attaque par l'oïdium sont globalement plus faibles sur le feuillage (30% de feuilles atteintes et 7% de destruction du feuillage) mais restent conséquents sur grappes (75% de grappes atteintes pour un niveau de destruction moyen de 10% à la véraison). Le Black rot montre un niveau d'attaque faible sur feuilles (moins de 1% de feuilles atteintes) comme sur grappes (2% de grappes atteintes et 0.7% de destruction de la récolte au stade véraison).

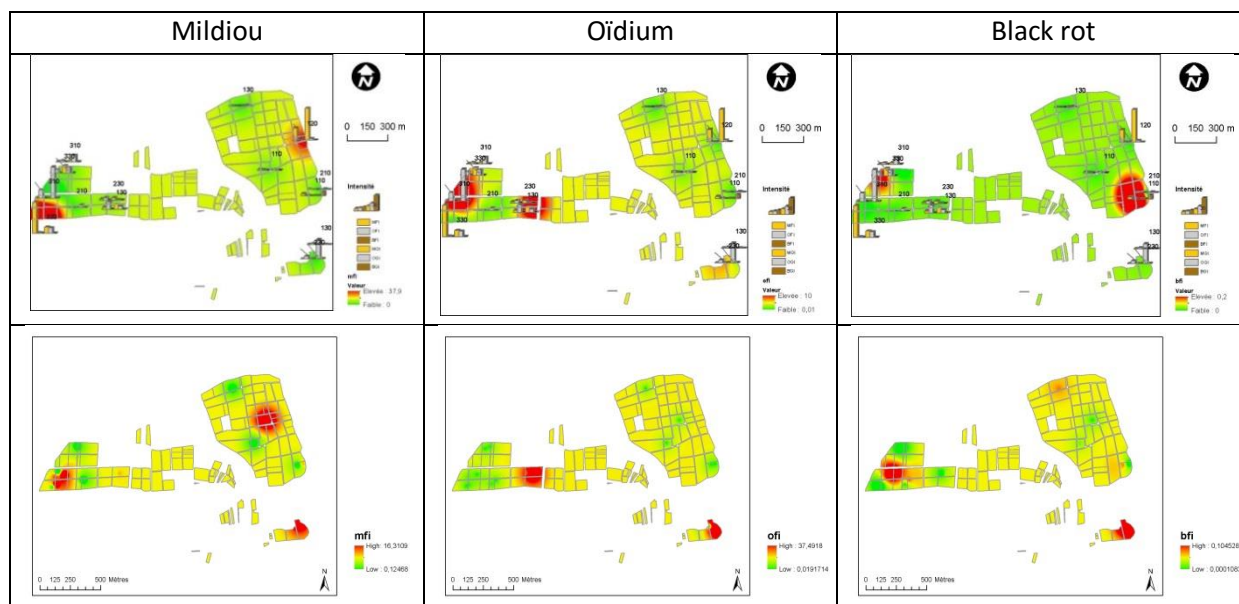


Figure 3: localisation, au stade pré-véraison, des foyers de mildiou (gauche), d'oïdium (centre) et de Black rot (droite), en 2014 (haut) et 2015 (bas).

En 2015, au stade de la véraison, les niveaux d'attaque de mildiou atteignent en moyenne 33% du feuillage pour 6,5% de destruction du feuillage, et 29% de grappes atteintes pour 9,5% d'intensité de la récolte. Les niveaux moyens d'attaque d'oïdium sont quant à eux de 14% en fréquence sur feuilles (5,5% de destruction) et de 13,5% de grappes atteintes (3,6% de destruction). L'attaque de black rot

est faible sur le millésime 2015, inférieure à 0,5% de feuilles et grappes atteintes. L'analyse de la répartition spatiale des attaques montre des foyers bien distincts pour chacune des trois maladies, comme le montrent les cartes de la figure 3 établies fin juillet début août, peu avant le stade de la véraison. Le dispositif des témoins non traités, bien que remanié entre 2014 et 2015, montre une distribution différente de la répartition spatiale des attaques d'une année sur l'autre : pour les 3 maladies observées, les foyers ne sont pas localisés sur les mêmes zones du vignoble. De même, la dynamique propre de chaque maladie diffère sur les deux millésimes (données non présentées) : l'année 2014 est caractérisée par des attaques plus tardives et plus virulentes que celles de la campagne 2015.

Les résultats des observations sanitaires ont été soumis à une analyse de variance et comparaison des moyennes à l'aide du test de Tuckey au seuil de risque de 5% sur l'ensemble des dates de contrôles (données non présentées). Ces analyses de variance permettent de déterminer l'impact du zonage UFP (variance globale) sur l'explication de la distribution des maladies, tout en mesurant l'effet du sol, de la biomasse et leur interaction. Nous dressons ci-après les principaux enseignements relevés pour le mildiou et l'oïdium, au terme des deux premières années d'étude : les niveaux d'attaque de Black rot sont trop faibles pour permettre d'évaluer l'impact du zonage UFP sur la distribution spatio-temporelle des foyers.

Mildiou

La comparaison des seuils de signification révèle des modes de fonctionnement différents au cours des millésimes 2014 et 2015. Au niveau de l'explication de la variance globale, le zonage UFP montre en 2014 un pouvoir discriminant fort sur le feuillage dès le mois de juin et tout au long de la saison ; l'effet sur grappes n'est que plus tardif et moins marqué. En 2015, l'effet zonage UFP apparaît quasi simultanément sur feuilles et grappes, et, à l'inverse de 2014, apparaît plus marqué sur grappes que sur feuilles.

L'effet du sol, marqué sur le feuillage en 2014, disparaît complètement en 2015. Les deux années il semble n'avoir aucun impact sur la variabilité d'attaque de la récolte.

L'effet de la biomasse explique dans les deux cas la variabilité de l'attaque du feuillage par le mildiou. Il semble inconstant au cours de chaque saison, au seuil de risque de 5% retenu, ce qui traduit sans doute des dynamiques de développement du mildiou différentes. L'effet de la biomasse sur le niveau d'attaque des grappes apparaît plus tôt et plus fort en 2015 qu'en 2014.

L'interaction des deux facteurs sol et biomasse montre en 2014 un effet significatif uniquement sur l'attaque du feuillage. Il est moins net en 2015 sur le feuillage et apparaît sur grappes à la fin du mois de juillet, soit passé le stade véraison.

Oïdium

Sur les deux années de mesure, le zonage UFP explique la variabilité des attaques sur le feuillage et sur la récolte. L'effet sur le feuillage est plus précoce en 2014 (début juillet) qu'en 2015 (mi-juillet) mais se révèle moins marqué. L'effet inverse est observé sur grappes : le zonage UFP apparaît légèrement plus précoce en 2015 qu'en 2014, au point qu'il se manifeste en 2015 avant l'effet sur le feuillage. Il apparaît surtout plus marqué en 2015 puisqu'il va jusqu'à expliquer la variabilité de l'intensité de destruction de la récolte, là où en 2014 il ne décèle de variations que sur la fréquence de grappes atteintes.

L'effet du facteur sol apparaît relativement proche entre les deux millésimes : il apparaît nettement corrélé à la fréquence d'attaque sur grappes dès début juillet, soit au stade fermeture de la grappe, et décorrélé des attaques sur le feuillage sauf en fin de saison à partir de fin juillet.

L'effet de la biomasse est faible et inconstant sur le feuillage en 2014 ; il n'apparaît pas sur grappes.

A l'inverse, il est manifeste sur la fréquence d'attaque des feuilles et des grappes en 2015.

L'interaction des deux facteurs sol et Biomasse montre les deux années un effet sur la variabilité d'attaque du feuillage d'autant plus marqué à l'approche de la véraison.

Conclusion

Le système d'Unité de Fonctionnement Physiologique (UFP) délimite à priori un zonage homogène à partir d'indicateurs préétablis : le croisement des cartes de résistivité électrique du sol et d'indice aérien de détection de la biomasse relevé par drone permet une approche systémique du fonctionnement de la vigne et de sa sensibilité aux maladies sur la globalité d'une exploitation. Malgré les difficultés inhérentes à la mise en œuvre d'une telle étude à l'échelle globale d'une exploitation viticole de 100 ha, les premiers résultats obtenus en 2014, confirmés par ceux de 2015, sont très encourageants et montrent l'intérêt d'un tel dispositif d'étude : le système de zonage proposé révèle des différences de comportements, tant sur le développement et la production de la vigne que sur le niveau d'expression des principales maladies observées. Le concept d'UFP apparaît ainsi comme une clef de lecture pertinente de l'analyse de la variabilité de la production et des principales attaques cryptogamiques sur le vignoble, gage d'une meilleure compréhension du fonctionnement de nos systèmes de production viticoles.

L'étude confirme ainsi d'ores et déjà tout l'intérêt que revêt la capitalisation d'informations exhaustives issues de capteurs embarqués exploités dans le cadre des techniques émergentes de la viticulture de précision. Ces premiers résultats devront bien sûr être confirmés par la poursuite de l'étude sur plusieurs millésimes de manière à vérifier la stabilité temporelle des critères étudiés, pour mieux comprendre dans quelle mesure ils entrent ou non en ligne de compte et hiérarchiser leur impact en fonction de l'itinéraire climatique.

Références bibliographiques

CLAVERIE M., DAVY A., AND RAYNAL M. 2014. A 3 year evaluation of Optidose® method for pesticide dose adjustment in Mediterranean French Vineyards to control powdery (and downy) mildew. Proceedings of the seventh international workshop on the grapevine downy and powdery mildew, Vitoria Gasteiz, Spain, June 30th July 4th 2014, Arabaco Foru Aldundia, 47-50

DAVY A, RAYNAL M, VERGNES M, CLAVERIE M, CODIS S, BERNARD FM. 2011. Trials results of the Optidose® method using an adjustment of the pesticide dose for control of downy mildew and powdery mildew, proceedings of the 11th international workshop on sustainable plant protection techniques in fruit growing, Lanxade, France, 8-10 June 2011, CTIFL, 80-81.

RAYNAL M., GUITTARD S., DEBORD C, DAVY A., PLANCQ T., VERGNES M., CODIS S., HEBRARD O. 2012. Le Plan de Traitement Optimisé : une approche globale pour réduire les impacts environnementaux, actes du colloque CIETAP, conférences sur les techniques d'application de produits de protection des plantes, AFPP, Lyon 15-16 mars 2012.

TISSEYRE B. 2012. Peut-on appliquer le concept d'agriculture de précision à la viticulture? Mémoire d'habilitation à diriger des recherches CNCA n°3, 71.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble des personnels du château Léoville Las Cases qui contribue au bon déroulement de cette étude. Ce programme est par ailleurs réalisé grâce à l'appui financier du fond européen de développement rural (FEDER) dans le cadre du programme Innovine, et celui de France Agrimer contribuant aux programmes Millévine et Pulvérisation de précision.

DETECTION PRECOCE DES MALADIES FONGIQUES PAR IMAGERIE HYPERSPECTRALE : TAVELURE DU POMMIER ET ANTHRACNOSES DU NOYER. PROJET CASDAR « AVENTURIA »

P. Vaysse¹, M. Nouri¹, M. Giraud¹, F. Lheureux¹, A. Moronvalle¹, JM. Roger², N. Gorretta², C. Germain³,
B. Keresztes³, G. Grenier³

¹ CTIFL, Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, 41 Route des Nébouts, 24130 Prignonieux

² IRSTEA, Institut national de la recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, 50 Avenue de Verdun, 33612 Cestas

³ IMS, laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système, 351 Cours de la Libération, 33400 Talence

Contact : Pierre Vaysse, Email : Vaysse@ctifl.fr

La tavelure du pommier (*Venturia inaequalis*) et les anthracnoses du noyer (liées à *Gnomonia leptostyla* et *Colletotrichum acutatum*) sont les maladies fongiques majeures pour ces deux espèces. Les stratégies de lutte pour la tavelure et les anthracnoses sont basées sur la prophylaxie, des interventions chimiques préventives avec parfois utilisation de modèles climatiques.

Pour la tavelure, les stratégies sont soit préventives avec un nombre élevé de traitements, pour couvrir tous les événements contaminants et doivent être renouvelées en cas de lessivage ou de pousses croissantes, soit curatives pour rattraper un défaut de protection.

Sur anthracnoses, les traitements en début de cycle des champignons, c'est-à-dire juste avant les contaminations principales sont les plus efficaces.

Mieux comprendre les mécanismes d'infection est essentiel pour développer, à terme, des méthodes de lutte ciblées contre ces agents pathogènes. Sur ces deux espèces, la connaissance précoce de la réalité de l'infection et des mécanismes de développement permettrait de mieux positionner les traitements « en stop », permettant ainsi de réduire les périodes de couverture, et de fait, le nombre de traitements.

Lauréat dans le cadre de l'appel à projet CASDAR Recherche Technologique 2014, le projet de recherche porté par le Ctifl et soutenu financièrement par le Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt vise à détecter de façon précoce la tavelure du pommier et anthracnoses du noyer en utilisant des caméras hyperspectrales dans des longueurs d'ondes du visible au proche infrarouge. Pour ce faire, le Ctifl sera appuyé scientifiquement par IRSTEA qui possède ce type de caméras et a un savoir-faire reconnu dans le traitement des signaux hyperspectraux, et le laboratoire IMS de Bordeaux spécialisé dans la création d'algorithmes d'analyse d'images.

Contexte et enjeux

Parmi les problématiques sanitaires rencontrées, la tavelure du pommier et les anthracnoses du noyer sont des maladies qui ont un impact majeur sur la rentabilité de l'exploitation. La protection contre la tavelure constitue le plus gros poste phytosanitaire du producteur de pomme à la fois en termes de coût mais aussi dans son pilotage.

La réduction des traitements phytosanitaires prévue notamment dans le plan Ecophyto 2018 alliée à la demande sociétale, le développement de la résistance aux fongicides et la perte d'efficacité de certains d'entre eux, rendent plus cruciale l'amélioration des méthodes de lutte.

L'objectif général du projet vise ainsi à proposer un outil de détermination précoce au plus près de l'infection (moins de 3 jours) sur les feuilles des maladies fongiques (tavelure du pommier et anthracoses du noyer) en utilisant une caméra hyperspectrale. Cet outil permettra d'apporter des informations pertinentes pour la prise de décision concernant la lutte contre les maladies fongiques au verger, et de limiter les intrants phytosanitaires. Ainsi, ce projet permettra de contribuer à maintenir la compétitivité des entreprises agricoles du secteur fruit face à la compétition internationale, fournir à la filière les outils de leur maintien et de leur développement.

Des maladies à fort impact économique et environnemental

En effet, la lutte contre la tavelure du pommier représente des coûts importants tant au niveau de l'utilisation des fongicides que du temps alloué à la gestion de la maladie. Le cycle de développement de la tavelure ne rend les symptômes visibles que 3 semaines après la contamination, les méthodes de lutte sont basées sur des modèles climatiques « aveugles » par rapport au développement du champignon.

La filière pomme se trouvant face à la nécessité de diminuer les coûts de production tout en maintenant la qualité des pommes, il est nécessaire d'optimiser les moyens de lutte contre la tavelure par la mise au point de nouveaux outils qui devraient permettre de mieux visualiser l'apparition et la cinétique de développement de la maladie.

La tavelure est la principale maladie du pommier, justifiant la majorité des interventions fongicides. Une mauvaise protection entraîne habituellement des pertes commerciales irréversibles pour le producteur. La stratégie classique de protection contre la tavelure consiste à positionner des fongicides préventifs avant les pluies annoncées durant la période des projections d'ascospores. Pour rattraper un défaut de protection ou un lessivage du produit lors de l'épisode contaminant, des traitements fongicides curatifs sont utilisés.

Des modèles ont été mis en place pour évaluer le risque d'infection en fonction de la maturation des ascospores, de la pluie, de la durée d'humectation, de l'hygrométrie et de la température (modèles DGAL/Inoki et RIMpro) pour raisonner les traitements.

Malgré une vigilance rigoureuse de la part des producteurs, des échecs de protection peuvent apparaître certaines années. La détection précoce par analyse d'image du développement du champignon s'avère une avancée dans l'amélioration des stratégies de protection contre cette maladie, pour être capable de déterminer si l'évènement pluvieux a provoqué une contamination.

Les anthracoses du noyer sont aussi des champignons responsables de pertes économiques importantes sur noyer. Ils affaiblissent la plante et permettent l'infestation par des maladies plus graves.

L'efficacité des traitements au cuivre diminue, et le positionnement des traitements proche de l'infection apporterait une meilleure sécurisation de la protection.

Les anthracoses du noyer sont liées à deux champignons *Gnomonia leptostyla* et *Colletotrichum acutatum* qui sont présents dans toute la noyeraie française.

Les dégâts varient selon les variétés, les secteurs et les conditions climatiques.

Les feuilles présentent de petites taches polygonales, les feuilles très attaquées chutent prématurément.

Sur fruit *Gnomonia leptostyla* provoque des petites taches brun noir sur le brou, dans le cas de fortes attaques des fruits, les noix sont de petit calibre et déformées.

Colletotrichum acutatum serait le principal responsable de la maladie de la noix noire qui prend une

connotation d'épidémie dans le Sud-Est pouvant engendrer des pertes économiques jusqu'à 60% (Romain, 2012, Pollegionni *et al.* 2012).

L'analyse hyperspectrale, des outils d'avenir

Dans son application professionnelle, le dispositif d'acquisition devra être adapté pour être testé en verger c'est-à-dire en conditions d'éclairage non contrôlées (lumière du jour) avec une masse aléatoire du feuillage.

Ensuite quelques bandes spectrales spécifiques qui permettraient d'atteindre des performances de détection suffisantes seront définies.

Ces bandes spécifiques ainsi connues devraient permettre de proposer la conception d'un système de prise de vue multispectral dédié à la détection de la tavelure et anthracoses, adapté à l'exploitation finale d'un outil à vocation professionnelle.

Cette méthode est basée sur l'acquisition d'images hyperspectrales en continu à l'aide d'une caméra spécifique depuis l'inoculation et pendant la durée du cycle des champignons. Ensuite le traitement de ces images permettant de trouver l'empreinte de l'infection par l'agent pathogène dans les spectres en utilisant des méthodes chimiométriques pourront être développées sur d'autres types d'espèces notamment la pomme à cidre et d'autres maladies.

Ces travaux participeront à l'amélioration des stratégies de lutte contre la tavelure du pommier et l'anthracnose du noyer et à la vulgarisation de ces stratégies auprès des producteurs en production fruitière intégrée et biologique. Cet outil pourra aussi être utilisé dans la mise en place des tests de sensibilité variétale aux maladies (phénotypage haut débit).

Ces modèles pourront aussi être testés et adaptés sur d'autres maladies fongiques ou bactériennes des arbres fruitiers.



Figure 1 : Inoculation tavelure



Figure 2 : *Colletotrichum* sur feuille de noyer

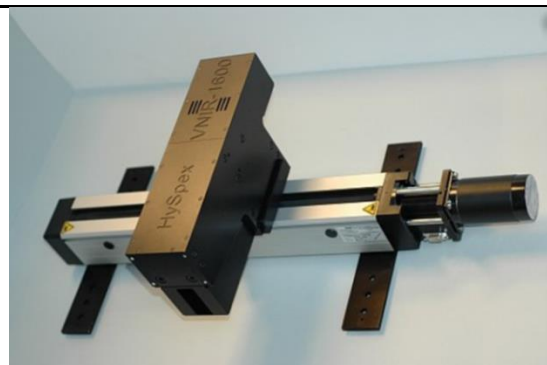


Figure 3 : Camera hyperspectrale Vis NIR

DAMAV : UN PROJET INTERREGIONAL DE DETECTION DE FOYERS INFECTIEUX DE FLAVESCENCE DOREE PAR IMAGERIE DE DRONE

H. Al-Saddik¹, J.C. Simon¹, O. Brousse², F. Cointault¹

¹ Agrosup Dijon, UMR 1347 Agroécologie, 26 Bd Dr Petitjean, 21000 Dijon

² GST, 14, rue Pierre de Coubertin, 21000 Dijon

Contact : Frédéric Cointault. Email : frederic.cointault@agrosupdijon.fr

Contexte et objectifs du projet

La flavescence dorée est une maladie de la vigne, décelable sur ses feuilles, contagieuse et incurable. Afin de contenir l'épidémie, la réglementation impose aux viticulteurs de contrôler chacun des pieds de vigne afin de détecter la maladie et d'arracher les ceps suspects. Cette surveillance, réalisée à l'approche ou pendant la période de vendanges, mobilise de nombreuses personnes pendant une période stratégique pour la viticulture, et constitue une opération fastidieuse. Le projet DAMAV a alors pour but de développer une solution de détection automatisée des maladies de la vigne par survol des parcelles par micro-drone. L'objectif est de proposer une solution clé en main pour les viticulteurs. Cet outil permettra la recherche de foyers potentiels de Flavescence Dorée, puis plus généralement de tout type de maladie de la vigne détectable sur le feuillage. Les partenaires du projet ont ainsi proposé d'étudier le feuillage à l'aide d'un drone et d'une caméra multispectrale haute résolution. Deux axes de travail sont identifiés : (i) Un travail sur les solutions de navigation à basse altitude (suivi du terrain entre 5 et 15 m du sol) pour que le micro-drone se déplace en intégrant son environnement immédiat grâce à la vision ; (ii) Un travail sur la conception d'une caméra multispectrale pour identifier les symptômes recherchés grâce à une grande résolution spatiale ainsi qu'un logiciel d'analyse s'appuyant sur des réseaux neuronaux pour la classification des maladies. Le repérage des foyers de maladie sera fourni dans un système d'information géographique pour apporter une lecture immédiate des zones infectées permettant un traitement localisé et direct des ceps infectés. Labellisé par les pôles de compétitivité Pegase, Risques, Vitagora et Aerospace Valley, le projet DAMAV, piloté par l'entreprise Novadem, réunit des partenaires industriels (Airbus D&S, GST), scientifiques (UMR Agroécologie), des organismes techniques (BIVB, FREDON PACA) et un domaine viticole (Domaine Magrez).

Méthodologie mise en place

La flavescence dorée se caractérise notamment par une coloration et une forme spécifique du feuillage (Figure 1) ainsi qu'un dessèchement de grappes et un défaut d'aoûtement. Transmise de plante à plante par la greffe et par une cicadelle d'origine nord-américaine *Scaphoideus titanus*, elle se propage de manière épidémique dans les vignobles du sud de l'Europe, où elle peut occasionner de fortes pertes de récolte et compromettre la pérennité des vignobles. Aujourd'hui, plus de la moitié de la superficie du vignoble français est en zone de lutte obligatoire, en vertu de réglementations nationales et européennes.



Figure 1 : Ceps infestés par la flavescence dorée

Quatre symptômes doivent être présents simultanément et sur un même rameau pour conclure à la présence d'une jaunisse à phytoplasmes témoignant de la maladie de la flavescence dorée :

- le changement de coloration des feuilles,
- l'enroulement des feuilles,
- l'absence de lignification des nouvelles pousses,
- la mortalité des inflorescences et des baies.

La coloration des feuilles varie en fonction du cépage : elles deviennent jaunes pour les cépages blancs, rouges pour les cépages rouges. La difficulté est donc de détecter ces symptômes et de les discriminer par rapport à un autre signe proche, comme une simple branche cassée qui aura une influence sur la coloration de la feuille, ou une autre maladie. Pour qu'une suspicion soit fondée, on considère qu'il faut détecter au minimum deux des symptômes ci-dessus. Pour l'instant il n'existe aucune alternative viable aux traitements insecticides pour lutter contre cette maladie. Des axes de recherche sont cependant actuellement à l'étude par le pôle technique du BIVB. Des recherches sont menées afin de mieux comprendre le cycle de développement de *Scaphoidieus titanus*, et ainsi positionner de façon plus efficace les traitements insecticides. A cette fin, un groupe de travail national travaille à la modélisation du cycle de l'agent vecteur. Par ailleurs, les travaux concernant l'origine des contaminations à partir du milieu sauvage cités au préalable, mettent en évidence un besoin de prospection et de contrôle au-delà même des zones cultivées.

A ce jour, il n'y a pas d'autre choix que de réaliser la prospection à pied dans les vignobles et qui plus est, à proximité ou pendant les périodes de vendanges. Il est donc par conséquent, matériellement très compliqué de déployer du personnel pour identifier les symptômes dès leur apparition. En conséquence le diagnostic n'est pas toujours établi et repousse d'autant la date d'intervention pour circonscrire l'épidémie, ce qui favorise d'autant la propagation de la maladie.

Le projet DAMAV s'appuiera ainsi sur les connaissances des partenaires suite notamment à l'étude de faisabilité pour développer une solution performante et adaptée aux besoins de détection des maladies. Cette étude de faisabilité préalable a permis de « dérisquer » le projet sur la capacité de détection à partir d'image capturée à basse altitude. L'objectif du projet est de développer une solution automatisée de recherche et de détection des maladies de la vigne par un moyen robotisé aérien associé à un outil de traitement logiciel dédié (Figure 2). La solution clé en main, qui sera proposée aux viticulteurs, pourra être déployée directement ou au travers de prestataires. Cet outil permettra dans un premier temps la recherche de foyers potentiels de flavescence dorée, puis plus généralement de tout type de maladie de la vigne détectable sur le feuillage (telles que l'Esca ou le Mildiou...).

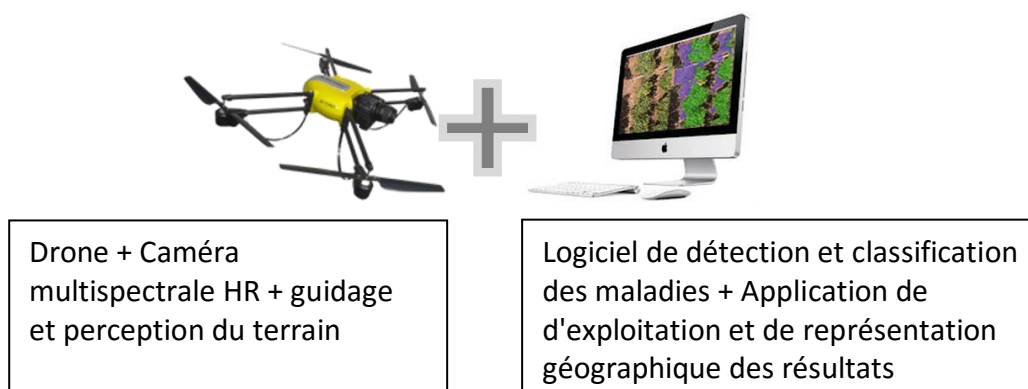


Figure 2 : Solution globale proposée à l'issue du projet DAMAV

La restitution des foyers de maladies dans un système d'information géographique (SIG) sera également fournie pour apporter une lecture immédiate des zones infectées au niveau intra-parcellaire, permettant un traitement localisé et direct des ceps infectés. La solution est articulée autour de moyens matériels associés à un outil logiciel complet. La finalité de DAMAV est de mettre à la disposition de la profession un outil innovant qui leur permettra de diagnostiquer les symptômes de la flavescence dorée de manière systématique sans mobiliser des ressources humaines importantes.

Premiers résultats obtenus dans le cadre du projet

Les résultats présentés dans ce paragraphe concernent à la fois l'étude de faisabilité et les premières activités de recherche du projet en lui-même.

L'étude de faisabilité menée en 2013/2014 par des partenaires du consortium (GST, UMR Agroécologie, Novadem) à la demande du BIVB concernait la possibilité de détecter des foyers infectieux dans les vignobles à partir d'images de drone. Cette étude a permis de valider que les images prises par un drone à basse altitude au-dessus des vignes permettaient de visualiser des zones flavescence dorée (figure 3b) ou d'autres maladies (figure 3a).

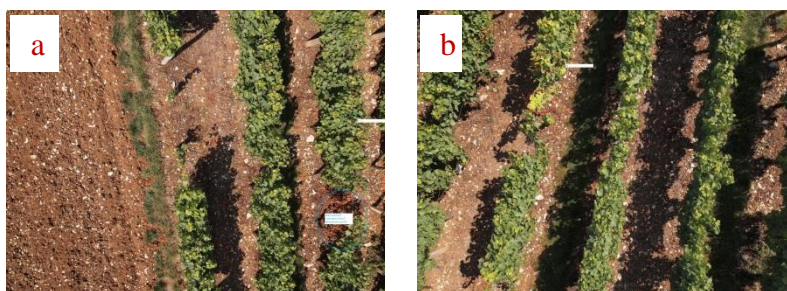


Figure 3 : a- Présence d'ESCA ; b- Présence de Flavescence Dorée

Cette étude a également permis de développer des algorithmes identifiant plus finement des foyers infectieux (figure 4).

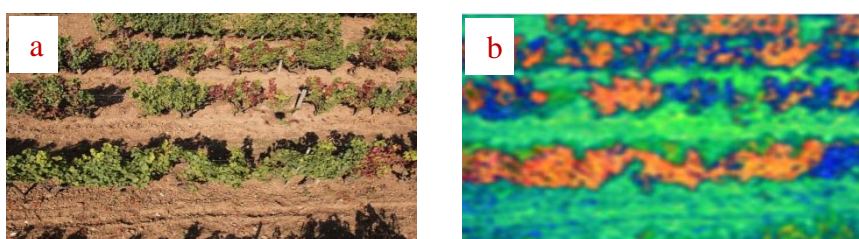


Figure 4 : a- Image originale ; b- Image traitée par les algorithmes développés

Néanmoins, un ensemble de difficultés rencontrées par la technologie actuelle ont été établis. En effet, le caractère complexe de la topologie des parcelles (coteaux, variation de pentes, obstacles...) rend impossible le vol automatique du drone sur la seule base du guidage par GPS, car ce moyen est insuffisant pour suivre précisément le terrain compte-tenu des contraintes liées à l'acquisition des données (suivi du terrain entre 5 et 10 m du sol). Par conséquent le pilotage a été réalisé en contrôle manuel afin de suivre le terrain, ce qui a demandé un opérateur confirmé pour réaliser les vols d'acquisition.

Ceci étant aucune réflexion n'a eu lieu sur le système d'acquisition, le capteur mis en œuvre dans cette étude n'était qu'un simple appareil photo qui a montré ses limites dans la détection et la différenciation des symptômes, compte tenu du seul spectre visible capturé.

Les traitements mis en place basés sur le couplage d'informations couleur/texture et neuronales, bien que performants, doivent encore être affinés et optimisés, pour prendre en compte la notion de fusion de données notamment grâce aux acquisitions multi-spectrales, et pour fonctionner quel que soit le degré d'infestation des zones ciblées.

Dès lors, afin de définir au mieux le meilleur capteur d'images multispectrales, nous avons cherché à définir les bandes spectrales de différenciation les plus adéquates. Pour cela, nous avons utilisé en laboratoire et au champ, un spectrophotomètre permettant de couvrir le spectre 350 nm-2500 nm, par pas de 1 nm (figure 5). L'objectif est ainsi de caractériser les zones spectrales les plus discriminantes, puis de concevoir l'outil d'acquisition adéquat.

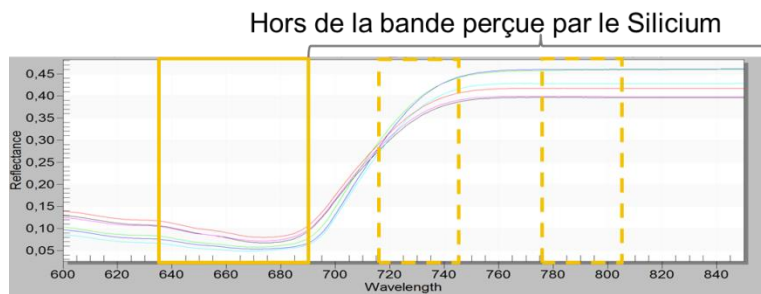


Figure 5 : Spectres de feuilles de vigne infestées et saines dans la gamme spectrale 600 nm-850 nm

De premières acquisitions spectrales réalisées en octobre 2015, conjointement à des analyses PCR en laboratoire, sont en cours de traitement pour valider les bandes spectrales pertinentes, dans la limite de l'utilisation de capteurs au silicium. Ainsi, l'année 2016 sera consacrée à une première campagne d'essais avec les filtres spectraux nécessaires, avant la conception concrète de l'outil multispectral final.

UN ACCOMPAGNEMENT TOUT AU LONG DU PROCESSUS VITICOLE

Avec EarthLab & Millesime bénéficiez d'un accompagnement personnalisé par nos experts et nos partenaires.

Nos technologies sont conçues pour vous accompagner dans votre recherche d'optimisation de vos pratiques viticoles, à différents niveaux de précision : la parcelle, le rang, le cep. Véritables outils d'aide à la décision, les données collectées par les satellites, ULM ou drones combinées à vos données terrain vous seront restituées via notre plateforme web, simple d'utilisation et accessible depuis n'importe quel support relié à internet.



DIAGNOSTIC VIGNOBLE

Bilan cartographique de votre parcelle : surfaces de vignes plantées, pieds manquants, diagnostic topographique : pente, ensoleillement.



GESTION DES INTRANTS

Exploitation des données cartographiques et des conseils personnalisés pour optimiser l'épandage des produits phytosanitaires et de fertilisants, avec la possibilité d'intégration des cartes dans vos machines agricoles.



VENDANGES SÉLECTIVES

Exploitation des données cartographiques et des conseils personnalisés en vue de définir ensemble les itinéraires techniques jusqu'à la mise en place des vendanges sélectives manuelles ou mécaniques.



UNE OFFRE ADAPTÉE A VOS BESOINS

	DIAGNOSTIC VIGNOBLE	GESTION DES INTRANTS	VENDANGES SÉLECTIVES
PRIVILÈGE	<ul style="list-style-type: none"> • Outil cartographique de suivi du vignoble au niveau inter-parcellaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse dynamique de la vigueur par parcelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Vendanges sélectives par sélection parcellaire
PREMIUM*	<ul style="list-style-type: none"> • Estimation des pieds manquants • Outil cartographique de suivi du vignoble au niveau intra-parcellaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse dynamique de la vigueur par rang • Carte de préconisation des intrants 	<ul style="list-style-type: none"> • Vendanges sélectives par sélection intra-parcellaire • Gestion de l'enherbement • Conseils opérations en vert
PRESTIGE*	<ul style="list-style-type: none"> • Comptage des pieds manquants • Outil cartographique de suivi du vignoble au cep 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse dynamique de la vigueur au plus près du cep • Carte de préconisation des intrants 	<ul style="list-style-type: none"> • Vendanges sélectives au plus près du cep • Gestion de l'enherbement • Conseils opérations en vert

* en partenariat avec des conseillers viticoles

Le service **Conseil et Formation** vous accompagnera dans l'utilisation des services EarthLab & Millesime via notre plateforme web en s'appuyant sur notre expertise des Systèmes d'Information Géographique (SIG). Ce service vous apportera tout le support nécessaire dans l'analyse et l'interprétation des produits livrés et, pour vos besoins plus spécifiques, développera des solutions et services personnalisés.

CONTACT > Lilian Valette
lilian.valette@telespazio.com - 06 12 54 93 37
www.earthlab-galaxy.com/aquitaine
earthlab-millesime@telespazio.com

EARTH LAB
AQUITAINE

BY



RÉGION
AQUITAINE



Telespazio

A Finmeccanica/Thales Company
Telespazio France

DEVELOPPEMENT D'UN OUTIL D'ESTIMATION DU RENDEMENT DE LA VIGNE A LA PARCELLE

B. Keresztes¹, D. Granger², Y. Labadie², S. Mary², S. Come³, J. Ossard³, J. Chartier⁴, C. Massus⁴, G. Brianceau⁵, T. Rospars⁵, C. Germain¹

¹ Laboratoire IMS – Univ. Bordeaux - Bordeaux Sciences Agro, Talence

² Vitinnov, Univ. Bordeaux, ISVV, Gradignan

³ Vigneron de Tutiac, Marcillac

⁴ Aquitaine Sciences Transfert, Bordeaux

⁵ Inno'Vin, Villenave d'Ornon

Contact : Barna Keresztes, barna.keresztes@ims-bordeaux.fr

Contexte et objectif

Le rendement de la vigne est un paramètre déterminant de la qualité d'un vin, qui conditionne aussi en partie le revenu du viticulteur. La connaissance précoce du rendement est un indicateur agronomique d'intérêt pour le pilotage de l'exploitation, qui permet entre autres, l'optimisation des vendanges en vert, une sélection parcellaire plus fine, la planification plus fine des cuviers, l'adaptation de la vinification selon le rendement parcellaire voire intra-parcellaire ou encore l'anticipation de la politique commerciale par l'estimation des volumes disponibles.

Les techniques d'estimations manuelles du rendement consistent à mesurer manuellement le nombre de grappes par pied de vigne et le poids moyen des grappes (Murisier 1986). Pour les résultats fiables, il convient d'échantillonner la vigne d'une façon aléatoire, sans biais provoqué par l'opérateur. Le nombre d'échantillons dépend de la précision souhaitée et de la variance spatiale de la mesure. Cette méthode, très coûteuse en temps, présente un taux d'erreur généralement entre 20% et 50%, mais pouvant atteindre 200% dans certains cas (Clingeffer 2011). Le très faible nombre de grappes observées explique les résultats décevants. De plus, si le comptage exhaustif des baies est aisé en cas de destruction de la grappe, il est plus difficile sans destruction de celle-ci.

L'imagerie offre une alternative à ces approches manuelles. Serrano (2005) propose par exemple un système portable composé d'une caméra, d'un fond orange et d'un capteur GPS, capable d'estimer rapidement et précisément le volume d'une grappe mesurée. Grossetête (Grossetête 2011) améliore cette méthode en utilisant un smartphone pour les calculs in situ et en se passant du fond orange. La mesure se fait manuellement, grappe par grappe. La méthode de Dunn (Dunn 2004) est capable de détecter les raisins noirs en utilisant une segmentation couleur, mais elle n'est utilisable qu'après la véraison. Rotscher (Rotscher 2014) propose de mesurer la taille des baies sur les images acquises par un appareil photo grand public, avec un étalonnage des mesures par une cible de référence, alors que Nutske (Nutske 2011) propose une estimation statistique basée sur le nombre des baies détectées et les rendements des années précédentes. Keresztes (Keresztes 2014) propose un algorithme de détection des baies, mesure leur diamètre et leur coloration, et détermine la date de mi-véraison et la vitesse de la maturation. D'autres projets sont en cours de développement, comme VineRobot qui vise à développer un véhicule terrestre sans pilote doté de capteurs non-invasifs capables de mesurer le rendement de la vigne ou sa vigueur. Les projets européens VVINNER et VINBOT ont des objectifs comparables.

A notre connaissance, aucune méthode d'estimation du rendement de la vigne, entièrement automatique et fondée sur des mesures spatialement denses n'a fait l'objet d'une application extensive et encore moins d'une industrialisation. C'est l'objectif que le consortium formé par le

groupe « Signal et Image » du laboratoire IMS, les « Vignerons de Tutiac », la SATT « Aquitaine Science Transfert » s'est fixé à travers le projet EARN, avec l'appui technique de la cellule Vitinnov et le support du cluster Inno'vin (projet labellisé en 2015).

Description du système proposé

La solution proposée s'appuie sur un système d'acquisition d'images (figure 1), associé à un logiciel permettant d'en rendre le fonctionnement complètement automatique. Le dispositif fixé sur le tracteur est entièrement automatique (pas d'intervention du pilote). Il est associé à un dispositif de géolocalisation et de mesure de la distance caméra / cible.

Le système conçu pour répondre à ce cahier des charges se compose principalement d'un mini-ordinateur industriel et d'une caméra industrielle rapide (résolution de 2 Méga Pixels). L'éclairage de la scène est assuré par un flash. Une batterie assure l'autonomie électrique et l'ensemble est protégé par un boîtier étanche fixé à l'avant d'un véhicule (figure 2), avec une prise de vue latérale. Le système est complété par un GPS et un télémètre ultrason.



Figure 1 : Les composants du système



Figure 2 : Le système monté sur un quad

Le traitement et l'analyse des images peuvent être directement effectués (en temps différé) sur l'ordinateur embarqué ou déporté sur un ordinateur de bureau.

Analyse automatique des images

Les algorithmes de détection des baies ont été adaptés et complétés sur la base de ceux décrits par Grossetête (2011) et Keresztes (2014) et permettent d'obtenir le nombre, la position et la taille de chaque baie détectée, et de construire des groupes de baies (baies suffisamment proches pour appartenir à une grappe ou à plusieurs grappes en contact).

Au-delà de la détection automatique des baies, la difficulté de l'estimation du rendement réside dans la transformation du nombre de baies visibles et détectées par l'analyse de chaque image en un rendement en tonne de raisin par parcelle. Pour obtenir ce rendement, la formule suivante est utilisée : $R = N_b \times \alpha \times P_u \times L$, où N_b représente les baies comptées par analyse d'image par mètre linéaire de rang de vigne, α est un facteur de correction, P_u le poids moyen d'une baie, L la longueur cumulée des rangs de la parcelle. Le facteur de correction α est obtenu en utilisant les résultats de comptages manuels effectués sur des placettes de contrôle. De même, le poids moyen d'une baie P_u est une entrée de l'algorithme.

Expérimentations 2015

Le dispositif autonome d'acquisition d'images a été exploité sur une parcelle de cépage rouge (Merlot) et une parcelle de cépage blanc (Sauvignon) (Figure 3). Sur chacune de ces parcelles, 2 modalités ont été testées (Vignes Effeillées / Vignes Non Effeillées) et 15 placettes de contrôles sont suivies manuellement par modalité. Cinq campagnes de mesures ont été réalisées à des stades clés du développement végétatif de la vigne : petit pois, fermeture de la grappe, mi-véraison, maturité et vendanges.



Figure 3 : Résultats de détection sur les deux cépages. Les baies détectées sont marquées par un cercle. Les baies affectées à un même groupe sont représentées de la même couleur.

Une campagne de mesure correspond à une acquisition d'images par parcelle, au prélèvement de grappes et à leurs mesures afin de connaître le poids des grappes, le nombre de baies par grappe, le poids moyen des baies, le volume des baies et la compacité de la grappe. Des mesures complémentaires ont été réalisées ponctuellement comme l'état des lieux de la parcelle, le dénombrement des grappes par cep et la proportion de baies visibles. Les images sont acquises pratiquement en continu, tous les mètres, au niveau de la zone fructifère par le dispositif fixé soit à un quad soit à un tracteur. Les résultats d'analyse d'images ont pu ensuite être extrapolés à l'ensemble de la parcelle. Ces estimations sont finalement converties en tonnes de raisin par parcelle en s'appuyant sur des mesures du poids des baies réalisées en fin de campagne.

Conclusion

Le dispositif autonome d'acquisition d'images élaboré dans le cadre de ce projet est opérationnel. Une première expérimentation très encourageante a été conduite en 2015. Une deuxième année de test à la parcelle permettra d'affiner et de confirmer les premiers résultats. De plus, il est important d'ouvrir le champ d'application du capteur sur d'autres cépages. Plusieurs questions doivent être approfondies pour affiner au maximum les résultats et en extraire d'autres informations :

- Définir le nombre de baies par parcelle issu des prises de mesures à des stades précoces, ainsi que le nombre moyen de baies par pied,
- Affiner sur plus de parcelles, avec un nouveau millésime,
- Réduire la dépendance aux facteurs α et P_u dans le calcul du rendement par analyse d'images, en réduisant l'échantillonnage agronomique en année 2, avec comme but ultime de pouvoir se passer des mesures terrain pour la commercialisation de l'outil.
- Affiner la méthode de mesure manuelle du poids des baies et l'adapter à l'industrialisation du capteur.

Enfin, le système d'acquisition développé pourrait s'adapter à d'autres applications viticoles telles que le suivi de la véraison, le contrôle de l'état sanitaire des grappes, l'estimation de la vigueur, ce qui constitue des perspectives enthousiasmantes.

Bibliographie

MURISIER F., JEANGROS B., AERNY J. 1986. Maitrise du rendement et maturité du raisin, Essai 1985. Revue suisse de viticulture arboriculture horticulture. 18 (3), p149-156.

CLINGELEFFER, P., DUNN, G., KRSTIC, M., MARTIN, S. 2001. Crop development, crop estimation and crop control to secure quality and production of major wine grape varieties: A national approach. tech. rep., Grape & Wine Research and Development Corporation.

DUNN, G., MARTIN, S. 2004. Yield prediction from digital image analysis: A technique with potential for vineyard assessments prior to harvest. Australian Journal of Grape and Wine Research, vol. 10, p196-198.

SERRANO, E., ROUSSEL, S., GONTIER, L., DUFOURCQ, T. 2005. Early estimation of vineyard yield: correlation between the volume of a *Vitis vinifera* bunch during its growth and its weight at harvest. Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production, FRUTIC 05, Montpellier.

NUTSKE, S., ACHAR, S., BATES, T., NARASIMHAN, S., SINGH, S. 2011. Yield estimation in vineyards by visual grape detection. International Conference on Intelligent Robots and Systems.

GROSSETETE M., BERTHOUMIEU Y., DA COSTA J.-P., GERMAIN C., LAVIALLE O., GRENIER G. 2011. A new approach on early estimation of vineyard yield: site specific counting of berries by using a Smartphone. European Conference on Precision Agriculture, Prague.

KERESZTES, B., DA COSTA, J.P., GRENIER, G., GERMAIN, CH., DAVID BEAULIEU, X. 2014. A depth and color vision system for the automated detection of grape maturity. Procs. Of RHEA conference, pp. 85-93, Madrid.

ROSCHER, R., HERZOG, K., KUNKEL, A., KICHERER, A., TPFER, R., FRSTNER, W. 2014. Automated image analysis framework for high-throughput determination of grapevine berry sizes using conditional random fields, computers and electronics in agriculture.

NOTES



Vitinnov 

VITINNOV

1 cours du Général de Gaulle
33170 GRADIGNAN
Tél : 05 57 35 07 65
Fax : 05 57 35 07 59
vitinnov@agro-bordeaux.fr
www.vitinnov.fr



ISVV
INSTITUT DES SCIENCES
DE LA VIGNE ET DU VIN
BORDEAUX AQUITAINE



BORDEAUX
SCIENCES
AGRO

université
de **BORDEAUX**