

**AFPP – COLLOQUE SUR LES TECHNIQUES D'APPLICATION DE PRODUITS DE PROTECTION DES PLANTES
LYON – 13 ET 14 MARS 2018**

CARACTERISATION DE LA VEGETATION PAR MESURES LIDAR EN ARBORICULTURE

Y. HUDEBINE ⁽¹⁾, J. GARNODIER ⁽¹⁾ et J.-P. DOUZALS ⁽²⁾

⁽¹⁾ IRSTEA, 361 rue Jean François Breton, F-34196 Montpellier, France, yoan.hudebine@irstea.fr

⁽²⁾ IRSTEA, 361 rue Jean François Breton, F-34196 Montpellier, France, jean-paul.douzals@irstea.fr

RÉSUMÉ

Dans le cadre du projet national Pulv'Arbo et afin de répondre au besoin de valeurs de référence, un Lidar est utilisé pour caractériser la végétation de plusieurs typologies de vergers français (haie fruitière, gobelet, grands volumes). Cet appareil de télédétection effectue des mesures non destructives sur la végétation. Des mesures manuelles sont aussi entreprises pour vérifier si les deux protocoles donnent des résultats semblables. Deux méthodes de traitement des données peuvent être employées, à partir desquelles, plusieurs indicateurs sont calculés afin de déterminer l'évolution des surfaces et volumes de végétation, ainsi que de la porosité. La comparaison avec les mesures manuelles montre que certains résultats peuvent être différents, illustrant les différences de méthodologies d'acquisition des valeurs qui varie d'une méthode de mesure à l'autre. Les résultats obtenus montrent que la porosité des vergers évolue beaucoup au cours de la saison, on peut alors évaluer le potentiel de pénétration d'une bouillie phytosanitaire.

Le Lidar est un dispositif permettant de caractériser rapidement et facilement la végétation, avec une meilleure fiabilité que les mesures manuelles. Il permet de déterminer la porosité de la canopée avec une bonne précision. Il est donc un bon moyen de standardisation des mesures de végétation. Le dispositif est cependant cher et l'analyse des données peut s'avérer longue.

Mots-clés : Lidar, manuelle, caractérisation, végétation, porosité.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF THE VEGETATION BY MEASURES LIDAR IN ARBORICULTURE

In the context of national project Pulv'Arbo and to answer the need for reference values, a Lidar is used to characterize the vegetation of several typologies of orchards in France (fruit hedge, gobelet, big volumes). This device of remote sensing allows non destructive measures on the vegetation. Manual measures are also undertaken to verify if both protocols give similar results. Two methods of data processing can be used, from which, several indicators are calculated to determine the evolution of surfaces and volumes of vegetation, as well as the porosity. The comparison with manual measurement shows that certain results can be different, highlighting different methodologies of acquisition of the values which varies of a method of measure in the other one. The obtained results show that the porosity of orchards evolves during the season a lot, we can then estimate the potential of penetration of a phytosanitary treatment. Lidar is a device allowing to characterize quickly and easily the vegetation, with a better reliability than manual measures. It allows to determine the porosity of the canopy with a good precision. Thus it is a good way of standardization of the measures of vegetation. The device is however expensive and the data analysis can turn out long.

Keywords: Lidar, manual, characterisation, vegetation, porosity.

INTRODUCTION

Actuellement en France, la dose de produits phytosanitaires appliquée en agriculture est calculée selon une surface cadastrale, même pour les cultures en 3 dimensions comme les pommiers. La pulvérisation ne tient pas compte du stade de développement végétatif des arbres, et la même dose est appliquée quel que soit la période du cycle. Dans la pratique ce mode de calcul facilite le travail des arboriculteurs, mais il provoque de grandes disparités dans la quantité de produit reçue par la végétation suivant ses caractéristiques.

Depuis 2009 et la loi Grenelle II, la France met en application les directives Européennes sur la préservation de l'environnement. Le plan national Ecophyto, lancé pour répondre aux objectifs de cette loi dans le domaine de l'agriculture, et dont l'échéance était prévue pour 2018, a été rebaptisé Ecophyto II en 2015 suite à la modification des dates d'échéance. Ce plan prévoit une réduction des quantités de produits phytosanitaires utilisées de 25% d'ici 2020 et, si possible, de 50% d'ici 2025 (Plan Ecophyto II, 2015).

Afin de répondre à ces attentes, Le projet national Pulv'Arbo a été initié en 2015, pour étudier les leviers possibles de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires en Arboriculture. Plusieurs objectifs sont inscrits dans ce projet, notamment la caractérisation de la végétation de différentes typologies de verger (haie fruitière, gobelet, grands volumes), dans le but d'adapter la dose de produit appliquée au développement de la végétation et plus à la surface cadastrale. Comme dans l'étude de (Llop et al. 2016), les mesures sont réalisées manuellement et parallèlement avec un appareillage laser appelé Lidar (Light Detection And Ranging).

Le Lidar est un dispositif optique de télédétection qui utilise les propriétés d'un laser pour déterminer, dans le cas présent, la position et les caractéristiques d'un verger. Il s'agit d'une technique non destructive de télémétrie qui permet de mesurer la distance entre la source et l'objet donné. La mesure réside dans l'analyse de la différence de phase entre le faisceau émis depuis la source et son retour suite au contact avec la cible. En balayant la végétation, il est alors possible de calculer une distance par rapport au Lidar pour chaque direction angulaire (coordonnées polaires), et cela jusqu'à plusieurs milliers de fois par seconde, selon le modèle et le réglage. Comme plusieurs études le montrent (Walklate et al. 2002, Walklate et al., 2006, Rosell et al. 2009, Méndez et al. 2011), ces données peuvent être utilisées et transformées, dans le but de caractériser la végétation.

En 2016 et 2017 des mesures avec un Lidar ont été effectuées dans les vergers de plusieurs stations d'expérimentation en France. Ces scans sur le terrain, permettent d'acquérir des valeurs de surface, de volume et de densité de végétation, pour alimenter une base de données. Cette base permettra de fournir aux parties prenantes du projet, notamment l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), l'ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques) et la DGAL (Direction Générale de l'Alimentation) des références sur les dimensions des vergers français. Grâce à ces références l'ANSES sera force de proposition au niveau Européen lors des discussions sur l'harmonisation de l'expression des doses de produits phytosanitaires de la zone Sud¹ (Règlement (CE) n°1107/2009). Notamment en fournissant les valeurs du verger de référence, qui permettront de définir la dose maximale appliquée selon la typologie du verger et ainsi d'adapter cette dose aux caractéristiques de chaque verger donné. Ces valeurs permettront d'intégrer au calcul de la dose, les notions de hauteur, d'épaisseur et de distance entre les rangs.

Cet article a pour objectif de présenter les résultats obtenus par mesure Lidar durant les campagnes 2016 et 2017, de les comparer aux valeurs obtenues par mesure manuelle, pour déterminer d'une part comment utiliser les données Lidar pour standardiser les mesures de caractérisation de la végétation et d'autre part pour développer des stratégies de réduction des doses ou tester des modalités d'applications.

MATERIEL ET METHODE

MATERIEL VEGETAL

Les espèces sur lesquelles sont réalisées les mesures Lidar sont diverses. Sont concernés les pommiers cultivés en haies fruitières (conduite en axe), les pêchers et abricotiers majoritairement conduits en gobelet (forme boule). On trouve aussi les grands volumes comme les noyers, conduits en axe ou en gobelet mais à une échelle plus développée. Les spécimens mesurés sont d'âges et de densités de plantation très variées, afin de répondre au besoin de valeurs de référence concernant le verger français, voir (Tableau I).

¹https://www.agro.basf.fr/agroportal/fr/fr/news_2/actualites/reglementation_bonnes_pratiques_actus/201106_Reglementation_europeenne_91_414.html

Tableau I : Caractéristiques du matériel végétal utilisé - Characteristics of the used plant material

Année	Espèce fruitière	Station	Nombre de vergers suivis pour caractérisation végétation au cours de la saison	Nombre de dates de mesures	Âge (année s)	Typologie
2016	Pomme	Sudexpé CEHM	5	2	4 - 22	Axe
2016	Pêche/Abricot	Sudexpé Serfel	5	2*	3 - 8	Axe/Gobelet
2016	Pomme/Poire/Prune	Pugère	8	2	3 - 69	Axe/Gobelet/Drilling/ Palmette
2016	Pomme/prune	Cefel	7	1	2 - 12	Axe
2016	Pomme/Châtaigne	Ctifl	8	1	4 - 18	Axe/Mur
2016	Pomme	Invenio	4	1	5 - 18	Axe
2016	Pomme/Poire	La Morinière	8	1	3-10	Axe
2016	Pomme à cidre	IFPC	8	1	8 - 16	Axe Libre
2016	Noyer	SENURA	5	1	10 - 33	Axe/Gobelet
2017	Pomme	Sudexpé CEHM	6	4	5 - 23	Axe
2017	Pêche/Abricot	Sudexpé Serfel	6	4*	3 - 9	Mur/Gobelet
2017	Pomme/Poire/Prune	Pugère	6	4	4 - 70	Axe/Gobelet/Drilling/ Palmette
2017	Pomme/prune	Cefel	8	4	2 - 12	Axe
2017	Pomme/Châtaigne	Ctifl	8	4	4 - 19	Axe/Mur/ Gobelet
2017	Prune d'ente	BIP	2	4	13 - 20	Gobelet/Axe
2017	Pomme	Invenio	5	4	4 - 19	Axe
2017	Pomme	La Morinière	9	4	4 - 11	Axe/Mur
2017	Pomme à cidre	IFPC	8	4	9 - 17	Axe libre
2017	Noyer	SENURA	8	4	11 - 34	Axe/Gobelet
TOTAL			124	46		

*Mêmes dates de mesure que le CEHM.

SITES EXPERIMENTAUX

Les sites de mesure sont répartis sur toute la France, afin d'acquérir des données sur le plus de zones géographiques, espèces et modes de conduite possible. Au sud-est, avec les stations de SudExpé à Marsillargues (34) et Saint-Gilles (30), de la Pugère (13) et de la SENURA (Station d'Expérimentation Nucicole Rhône Alpes, 38). Au sud-ouest, avec les stations du CEFEL (Centre d'Expérimentation en Fruits et Légumes, 82), du Ctifl de Lanxade (Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, 24) et de l'INVENIO (87). Et enfin le nord-ouest, avec les stations de la Morinière (37) et de l'IFPC (Institut Français des Productions Cidricoles, 61). Entre 5 et 8 parcelles sont étudiées par station, pour un total de 65 parcelles analysées en 2017.

PROTOCOLE DE MESURES LIDAR

Le dispositif comprend plusieurs éléments : un châssis métallique construit spécifiquement pour l'usage du Lidar est positionné à l'arrière d'un tracteur grâce au système d'attelage 3 points. Sur ce châssis est fixée une caisse, qui contient une batterie 12V alimentant le système, une caméra qui capture une image toutes les secondes, un GPS RTK qui permet de visualiser la position précise du Lidar et une centrale d'acquisition qui récupère toutes ces données. Un système Lidar 2D est positionné sur un mât à l'extérieur de la caisse et est aussi relié à la centrale d'acquisition. Il est orienté avec l'angle mort de mesure vers le bas, de façon à atteindre le haut des arbres lors du scan. Le lancement et l'arrêt des mesures sont pilotés depuis un ordinateur portable et une connexion wifi. Les données sont enregistrées au fur et à mesure sur la Table d'acquisition (Figure 1). Les mesures ont été réalisées à 4 dates pour chaque station, suivant la situation géographique, de façon à suivre la végétation aux stades clés de développement. Ainsi un 1er passage a été réalisé durant les stades de dormance, un 2ème pendant les stades précoces de sortie des feuilles, un 3ème en milieu du cycle végétatif et un dernier en fin de développement du feuillage.

Lors de l'acquisition des données l'appareil est capable d'enregistrer des informations pour les deux rangs qui l'entourent, cependant seul le rang à droite du Lidar est considéré. Une fois la mesure lancée le tractoriste effectue un premier aller entre les rangs (scan du côté gauche du rang de droite), puis fait un retour dans l'inter-rang à droite du précédent, de façon à enregistrer des informations sur le côté droit du rang de droite. Toute l'action est répétée une deuxième fois afin d'obtenir de répétitions (figure 2).

Figure 1 : Schéma du dispositif de mesure Lidar/ scheme of the Lidar measurement device

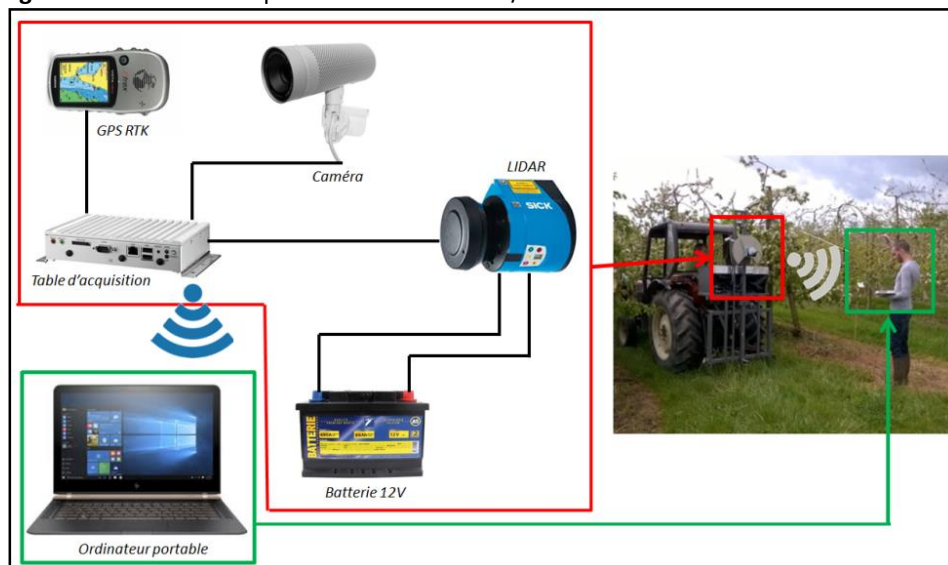
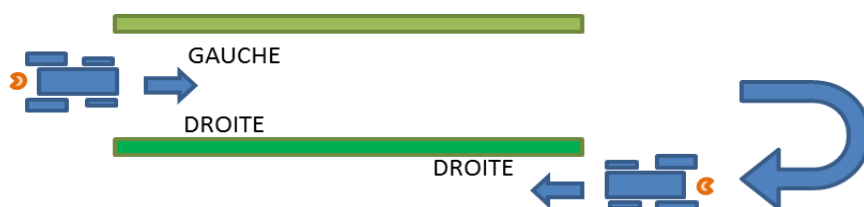
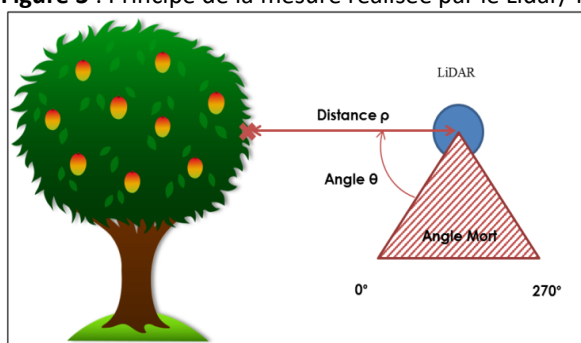


Figure 2 : Schéma du passage effectué avec le Lidar/ Travelling modalities for Lidar scanning.



Le Lidar est réglé de façon à effectuer des balayages laser d'une longueur d'onde de 905 nm sur la végétation, à une fréquence de 50Hz. Des mesures sont réalisées tous les 0,5° sur une plage allant de 0° à 270°, voir (Figure 3). En fonction de la vitesse d'avancement du tracteur, qui est dans le cas présent, proche de 5km/h, les mesures sont réalisées avec une précision de l'ordre du centimètre. Dans chaque plan donné des coupes verticales de végétation sont donc virtuellement réalisées, et le balayage complet d'un rang représente plusieurs dizaines de milliers de points.

Figure 3 : Principe de la mesure réalisée par le Lidar/ Principle of the measurement with Lidar.



TRAITEMENT DES DONNEES

Le traitement des données s'effectue à l'aide du logiciel Matlab. Grâce aux algorithmes spécifiquement créés au sein de l'IRSTEA, et en intégrant les données GPS, il est possible de recréer une image de la végétation en trois dimensions. L'axe X correspond à la direction d'avancement (axe horizontal du rang), l'axe Y à la hauteur du rang et l'axe Z à son épaisseur, ce type de représentation a déjà été expérimentée dans plusieurs études (Bailey et Mahaffee, 2017 ; Llop et al. 2016). La capacité de pénétration du laser dans la végétation est très dépendante de la densité d'impacts avec les feuilles obtenues en surface. En effet, plus la canopée est dense plus le laser aura des difficultés à pénétrer au cœur de la végétation, étant donné que de nombreux

faisceaux sont interceptés tôt par les impacts en surface. La reconstitution du rang se fait grâce aux échos reçus, ces « pixels », comme mentionné plus haut, représentent une surface élémentaire dans la réalité de l'ordre de quelques cm², qui est fonction de la vitesse du tracteur et de la fréquence des scans. Cela permet d'obtenir un nuage de points le plus fidèle possible à la réalité. À partir de cette étape, plusieurs filtres informatiques sont mis en place afin de supprimer les données parasites comme le filet paragrêle situé au-dessus de la végétation. Une hauteur minimum de végétation est aussi fixée afin de supprimer les points représentant une partie du tronc ainsi que la zone enherbée sur le rang. Lors d'un passage en végétation, seules les valeurs correspondant à une moitié de rang sont analysées, l'autre demi-rang étant analysé à partir des valeurs obtenues durant le passage retour. Ainsi, pour un inter-rang de 4 m, les impacts retenus sont ceux allant de 0 m (position supposée du Lidar) à 2,10m (position approximative du tronc).

Suite à la mise en place de ces filtres, deux approches analytiques peuvent être employées, mais quel que soit la méthode, les calculs sont réalisés sur la demi-épaisseur de végétation.

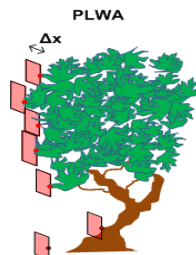
La première consiste à analyser le rang entier en calculant :

Le LWA (Leaf Wall Area, en m²/ha), ou « la surface du mur de verger » est déterminée à partir de la hauteur moyenne de végétation (d'après les valeurs moyennes des deux côtés du rang), ramené à une surface d'un hectare par rapport à la distance inter-rang.

$$\text{LWA moyen} = (2 \times \text{hauteur moyenne de végétation} \times 10000) / \text{distance inter-rang}$$

Le PLWA (Point LWA, en m²/ha) où pour chaque point d'impact on affecte une surface élémentaire. Ce critère ne considère donc pas la porosité de la canopée et indique une surface de mur « nette » (figure 4).

Figure 4 : représentation du PLWA - PLWA representation.



Le TRV (Tree Row Volume, en m³/ha), ou « le volume du rang de verger » est déterminé à partir de la hauteur et de l'épaisseur moyenne de végétation, pour une surface d'un hectare, par rapport à la distance inter-rang. On considère le rang comme un parallélépipède rectangle.

Pour le TRV il faut intégrer un facteur 2/3 pour les vergers conduits en gobelet, pour tenir compte de la forme des arbres.

$$\text{TRV } 95^{\text{ème}} \text{ centile} = \frac{(\text{hauteur moyenne de végétation} \times 95^{\text{ème}} \text{ centile des épaisseurs} \times 10000)}{\text{distance inter-rang}}$$

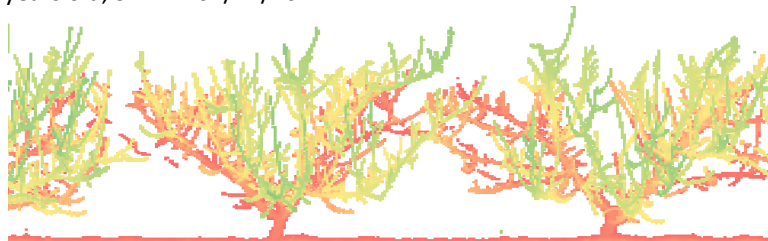
Et le TRVaire 95ème centile (m³/ha) où les points du Lidar sont reliés entre eux jusqu'au centre du rang pour prendre en compte le volume de celui-ci. Les valeurs d'épaisseur au 95ème centile ont été choisies afin de garder une cohérence avec les mesures manuelles et limiter l'impact de situations anormales (figure 5).

Figure 5 : Représentation du TRVaire 95ème centile – TRVaire 95th centile representation.



La deuxième approche consiste à exporter les données dans un fichier Excel afin d'en obtenir une représentation en 2 dimensions. Cette exportation se limite à des valeurs correspondant à 10 mètres du rang total. Les mêmes indicateurs sont calculés à partir du fichier Excel, cette approche est beaucoup plus visuelle que la précédente (figure 6).

Figure 6 : Représentation en coordonnées cartésiennes de la parcelle 15 rang 4, abricotier (Perlecot) 6^{ème} feuille, SERFEL 21/02/2017 – Representation in cartesian coordinates of the field 15 line 4, apricot (Perlecot), 6 years old, SERFEL 02/21/2017.



RESULTATS

LES INDICATEURS OBTENUS SELON LA PREMIERE METHODE

Tableau II : Tableau récapitulatif des indicateurs de données Lidar et manuelles obtenues en 2016/ Summary table of the indicators of both Lidar and manual data obtained in 2016.

Espèce	Typologie	LWA _{man}	LWA _(L)	PLWA	2D Porosité	TRV _{man}	TRV _(L)	TRVAire	3D porosité
Pommier (jeune)	Axe	12840	10800	5790	47%	5849	6750	3640	46%
Pommier	Axe/Mur	17295	18080	8140	55%	12880	12800	7750	40%
Fruits à noyaux	Gobelet/Mur	13080	7680	5540	28%	11550	8650	7310	15%
Noix	Gobelet/Axe	19060	11410	5870	49%	55620	31950	20030	37%
Pomme à cidre	Axe Libre	11670	9800	5890	40%	12090	11120	9850	11%

- LWA_{man} : LWA manuel, LWA_(L) : LWA Lidar, TRV_{man} : TRV Manuel, TRV_(L) : TRV Lidar. Fruits à noyau : pêche, abricot, prune.

Des différences entre mesures Lidar et manuelle sont observées dans le Tableau II, parfois faibles (LWA pommier : 17295 – 18080 m²/ha, TRV pommier : 12880 – 12800 m³/ha) et parfois importantes (LWA noix : 19060 – 11410 m²/ha, TRV noix : 55620 – 31950 m³/ha). Les différences sont de l'ordre de 4 à 41% pour le LWA et de 0,7 à 43% pour le TRV.

La porosité 2D varie de 28% à 55% (sur le demi-rang), selon la culture et la typologie. Tandis que les niveaux de porosité 3D varient de 11 à 46% (sur la demi-épaisseur).

Tableau III : Tableau récapitulatif des indicateurs de données Lidar et manuelles obtenues lors de la pleine végétation en juillet-août 2017/Summary table of the indicators of both Lidar and manual data obtained during the full vegetation in July-August, 2017

Espèce	Typologie	LWA _{man}	LWA95 ^e _(L)	PLWA	2D Porosité	TRV _{man}	TRV95 ^e _(L)	TRVAire	3D porosité
Pommier (jeune)	Axe	16427	13639	7637	44%	14852	13453	6730	50%
Pommier	Axe/Mur	17338	16552	10262	38%	17470	13142	7465	43%
Fruits à noyaux	Gobelet/Mur/Axe	15105	14647	9228	37%	42480	15956	15332	4%
Noix/Châtaigne	Gobelet/Axe	19263	20553	11510	44%	90207	42245	21482	50%
Pomme à cidre	Axe Libre	18052	16760	10390	38%	41206	18134	11908	45%

- LWA_{man} : LWA manuel, LWA_(L) : LWA Lidar, LWA95^e_(L) : LWA Lidar 95^{ème} centile des hauteurs, TRV_{man} : TRV Manuel, TRV_(L) : TRV Lidar, TRV95^e_(L) : TRV Lidar 95^{ème} centile des épaisseurs. Fruits à noyau : pêche, abricot, prune.

Dans le tableau III, les différences entre mesures manuelle et Lidar sont moins marquées qu'en 2016 pour le LWA (différence de 3 à 17%), cependant pour les cultures en volume l'écart reste important pour le TRV (écart de 10 à 66%) entre méthodes de mesures.

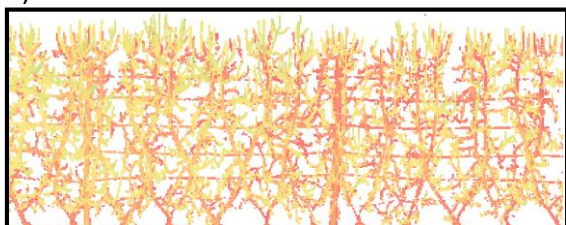
On observe deux groupes, les pommiers majoritairement conduits en axe et les autres espèces conduites principalement en axe libre ou en gobelet. Bien que peu d'écart ne soit retrouvé entre espèces au niveau du LWA_L (excepté pour les noyers où la valeur est la plus importante), et de la porosité 2D (entre 37 et 44%), on retrouve des différences plus marquées pour les volumes foliaires. En effet les valeurs de TRV_L du 95^{ème} centile des épaisseurs sont plus élevées pour les cultures en « volume » que pour les pommiers (de 15956 à 42245 m³/ha contre 13142 m³/ha). La différence est encore plus importante pour les volumes nets de végétation

(TRVAire de 11908 à 21482 m³/ha, contre 7465 m³/ha). Les valeurs de porosité 3D montrent aussi une grande disparité (de 4 à 50%).

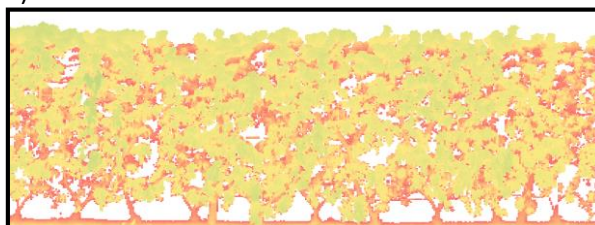
LES INDICATEURS OBTENUS SELON LA DEUXIEME METHODE

Figure 7 : Représentation en coordonnées cartésiennes, des données obtenues avec les scans Lidar à 4 dates et représentation graphique des valeurs de LWA et TRV correspondantes/ Cartesians coordinates representation, of points obtained with scans Lidar at 4 dates and graphical representation of the values of corresponding LWA and TRV. Parcelle 21 Ligne 2, pommiers Ariane 9^{ème} feuille, inter-rang : 4m, La Morinière, les 28/02 A), 19/04 B), 31/05 C) et 24/07 D) 2017.

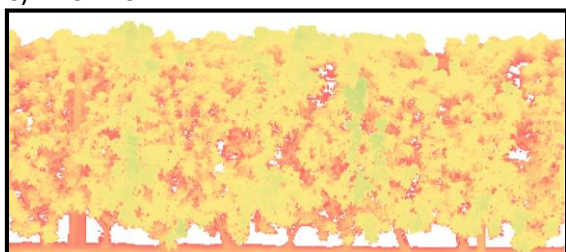
A) Dormance



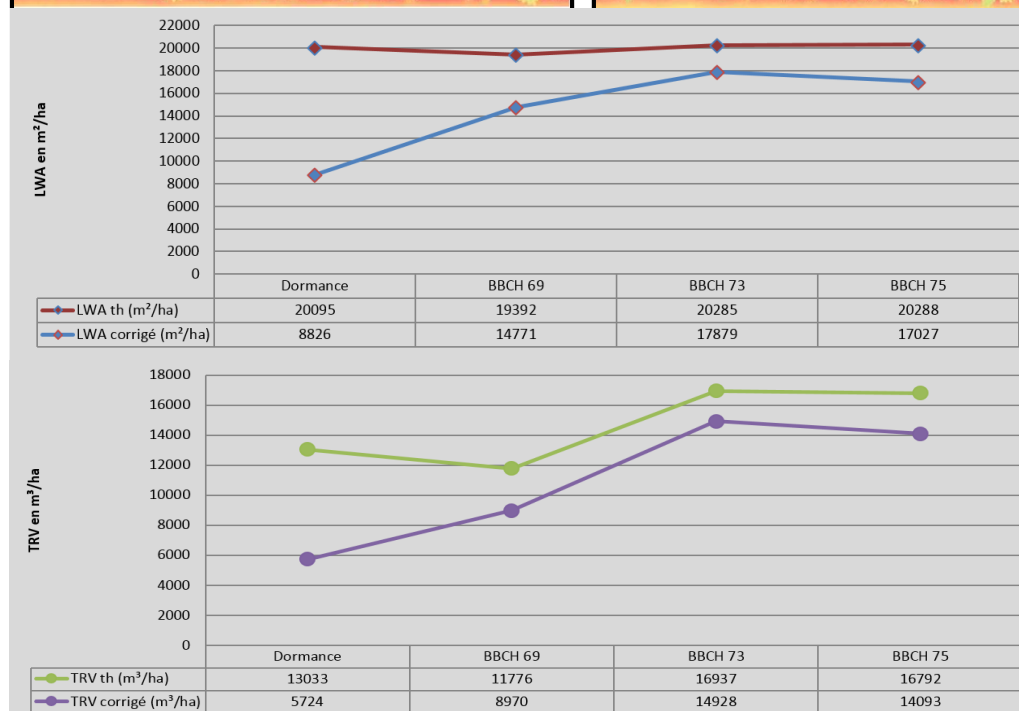
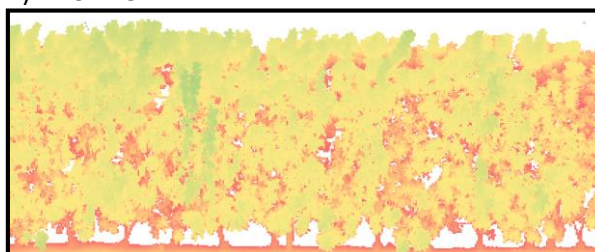
B) BBCH 69



C) BBCH 73



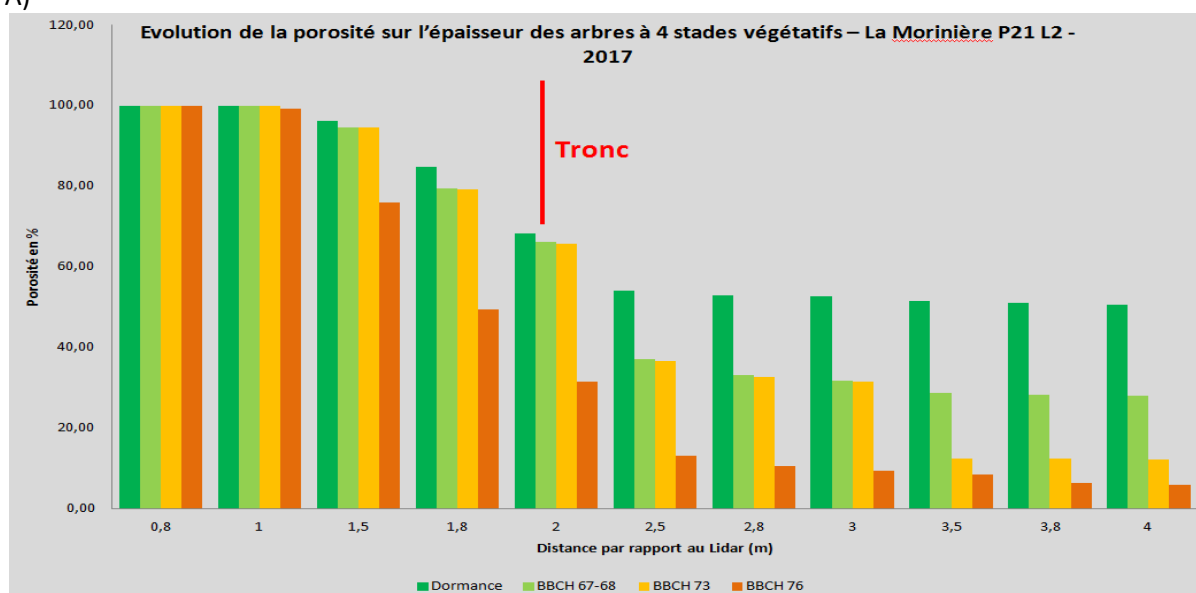
D) BBCH 75



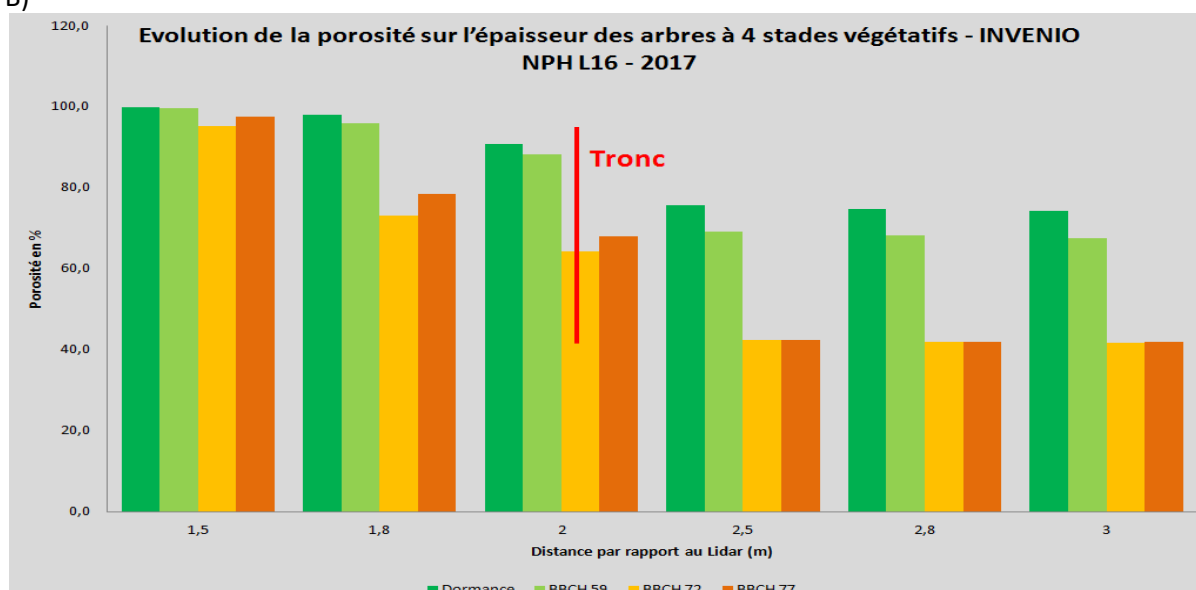
Pour cette parcelle le LWA 95^{ème} centile des hauteurs passe de 20095 m²/ha au cours de la dormance à 20288 m²/ha lorsque les fruits ont atteint 50% de leur taille finale. Les valeurs du TRV 95^{ème} centile des épaisseurs montrent elles une tendance différente, de 13033 m³/ha pendant la dormance, à 16937 m³/ha au début de grossissement des fruits, pour finir à 16792 m³/ha en pleine végétation. Les valeurs du LWA corrigé, suivent la même tendance, on observe une diminution pour le dernier stade de mesure (8826 à 17879, puis 17027 m²/ha). Le TRV montre aussi cette diminution en fin de saison (TRVAire : de 5724 à 14928, puis 14093 m³/ha) (figure 7).

Figure 8 : Schéma représentant l'évolution de la porosité du rang mesuré avec le Lidar au cours de la saison/ Plan representing the evolution of porosity of the row measured with Lidar during the season. A) Parcelle 21 Ligne 2, pommiers Ariane 9^{ème} feuille, axe, La Morinière et B) Parcelle NPH rang 16, pommiers Golden 4^{ème} feuille, axe, INVENIO.

A)



B)



La figure 8 présente l'évolution de la porosité obtenue avec le Lidar au cours de la saison, en fonction des différentes tranches verticales de végétation. Le filtre permettant d'analyser les données par demi-rang peut-être modifié afin d'obtenir le taux d'impact en fonction de la distance par rapport au capteur. C'est-à-dire que depuis la distance 0 (position supposée du Lidar) et jusqu'à 4 m (position approximative, dans le cas présent, du centre de l'inter-rang suivant), un taux d'impact peut être calculé selon différents pas d'épaisseur de canopée en cm. À 2m on trouve la position approximative du tronc. En réalisant la différence du taux d'impacts par rapport à 100%, on obtient ainsi la porosité du verger. Les valeurs en sortie de végétation correspondent donc au taux de « subsistance » du laser, après son passage à travers le rang, c'est-à-dire qu'il n'a rencontré aucun obstacle.

Dans cas du verger adulte (A), la porosité totale du rang passe de 50,5% en hiver à 6% en fin de développement végétatif et dans le cas du jeune verger (B) de 73 % à 41%.

DISCUSSION

1^{ERE} APPROCHE

Les différences observées entre le LWA_{man} et le LWA_L sont dues à des différences de méthodologie dans la mesure de la hauteur, d'une part on utilise la hauteur maxi des arbres (LWA_{man}) et d'autre part on utilise la hauteur moyenne (LWA_L). Dès que l'écartement des arbres est significatif et notamment dans le cas de vergers plus jeunes ou de grands arbres non jointifs, cette différence est observée. C'est pour cela que les valeurs du 95^{ème} percentile des hauteurs ont été choisies en 2017. On peut ajouter que les valeurs du tableau I, sont calculées à partir de mesures réalisées en début ou milieu de végétation, elles ne peuvent donc être prises pour déterminer des valeurs de verger de référence. De plus, la végétation y est moins développée ce qui atténue les différences au niveau du TRV du 95^{ème} percentile des épaisseurs. Il a été choisi de séparer les jeunes pommiers des pommiers adultes, afin de ne pas minimiser les surfaces et volumes de végétation à considérer. Pour les autres espèces également, les données sur jeunes vergers et vergers adultes sont traitées séparément. L'estimation de la porosité 2D sur un demi-rang varie de 28 à 55% mais ces nombres seront réduits si on considère l'épaisseur totale de la végétation. On observe des différences d'estimation des TRV en mode manuel et Lidar dues aux mêmes raisons d'estimation de la hauteur et de l'épaisseur de la végétation. Des différences atténuées par l'utilisation du 95^{ème} percentile des hauteurs et épaisseurs.

Les valeurs Lidar du tableau III permettent de donner une estimation des surfaces et volumes de végétation maximum que l'on peut obtenir pour chaque espèce et typologie de verger, avec une bonne précision. Les travaux menés par Arnó et al., 2013 ont également montré une bonne estimation des caractéristiques foliaires par le Lidar dans le cas de la vigne. D'autres encore utilisent le Lidar pour déterminer des indicateurs de végétation, qui ont permis de réaliser des mesures de dépôts de pulvérisation sur vigne, en adaptant les réglages aux caractéristiques de la végétation (Bastianelli et al. 2017).

2^{EME} APPROCHE

Cette approche a l'avantage d'être très visuelle, une fois calculé, le nombre d'impacts obtenu permet comme pour la première approche de calculer la porosité du verger considéré, et les indicateurs de caractérisation de végétation. Elle semble cependant moins précise étant donné qu'elle ne concerne qu'une portion de rang, de plus elle est longue à mettre en œuvre.

Dans les résultats présentés, ceux de la dernière date en juillet 2017 diminuent pour les deux types d'indicateurs (LWA et TRV corrigés). On peut attribuer cela au développement des fruits qui sous l'effet de leur poids font fléchir les branches, faisant ainsi diminuer la hauteur et l'épaisseur de végétation. On retrouve ce phénomène également dans le cas des mesures manuelles tardives dans la saison. Dans tous les cas, comme certains travaux l'ont démontré (Rosell et al. 2009, Escolá et al. 2017), le Lidar 2D est capable de mesurer les caractéristiques de la végétation avec une précision suffisante pour les applications agricoles. Notamment pour adapter la dose de produit phytosanitaire appliquée.

POROSITE DU VERGER

En considérant que le laser du Lidar correspond aux gouttelettes de pulvérisation qui traverse la végétation (mouvement des feuilles non pris en compte), on peut évaluer qu'en juillet seulement 6% de la bouillie pulvérisée dans le cas du verger adulte et 41% dans le cas du jeune verger, arrivent à traverser le rang et couvrir la partie non exposée de celui-ci. Il s'agit là de résultats obtenus à partir de seulement deux vergers, dans un autre cas de verger adulte non présenté ici, la porosité en fin de végétation est de 25%. Au vu des résultats préliminaires, il semble nécessaire d'être prudent lors des traitements réalisés un rang sur deux. Cette pratique se développe de plus en plus chez les arboriculteurs afin de réaliser les traitements plus rapidement. Bien qu'elle semble garder une certaine efficacité lorsque le verger est jeune ou dans les stades précoces de développement végétatif d'un verger adulte. Pour un verger âgé, en pleine végétation, cette pratique pourrait s'avérer risquée et engendrer une faible couverture, du côté du rang non exposé au traitement. Pour faciliter la pénétration de la bouillie au sein de la végétation, dans le cas de cette pratique, on peut envisager une conduite du verger en mur fruitier, qui correspond à une végétation moins épaisse, permettant une meilleure répartition du produit. Il est aussi possible de chercher à adapter la taille des arbres (modulation de la porosité), de façon à optimiser le passage de la bouillie au cœur du feuillage, tout en considérant le mode de conduite et la coloration des fruits.

Le second levier à actionner serait d'adapter la vitesse de ventilation lors d'un passage 1 rang sur 2 (diminution de la vitesse de rotation de la prise de force), notamment en début de végétation où la porosité est de l'ordre de 50%. Afin de limiter la perte de produit hors du rang.

CONCLUSION

Pour conclure sur cet article, les avantages et inconvénients du dispositif vont être exposés.

L'estimation des caractéristiques de la végétation via un Lidar a plusieurs avantages :

- C'est un bon outil de standardisation de mesure de végétation, il permet d'acquérir un grand nombre de données en peu de temps sur la totalité du rang mesuré et pas seulement sur quelques arbres. Cela donne une meilleure précision à la valeur de l'indicateur obtenu et permet une bonne fidélité.
- Cet appareil est aussi un puissant moyen de déterminer la porosité d'un verger, ce qui permet de calculer la surface et le volume réels de végétation, apportant un avantage certain sur les mesures manuelles.
- Les données obtenues sont fiables, grâce aux données GPS acquises pendant les scans, la précision des mesures est de l'ordre du centimètre. Les indicateurs de canopée obtenus montrent qu'une adaptation, à la végétation, de la dose de produit appliquée est possible. Bien qu'elle ne puisse pas encore se faire au centimètre près.

Néanmoins elle comporte un certain nombre d'inconvénients :

- Tout d'abord du fait du nombre important de données collectées, l'analyse peut s'avérer longue selon le but fixé, d'autant que leur traitement ne peut être fait directement au champ. Le développement d'un logiciel spécifique adapté à ce type de données, dans lequel il suffirait d'ajuster les paramètres de la végétation, permettrait d'obtenir les indicateurs pour caractériser la végétation dès la fin de la mesure.
- Les valeurs obtenues pour les cultures en volume sont plus approximatives, notamment pour le volume de végétation, à cause de l'épaisseur de la canopée.
- Le prix est aussi un inconvénient pour le Lidar, en effet pour acquérir la totalité du dispositif décrit précédemment (GPS, Lidar, ordinateur...), il faut déboursier environ 15 000€. Cette somme importante pourrait être investie dans les stations régionales au moyen de subventions, afin qu'elles puissent publier à intervalle régulier des bulletins sur les caractéristiques de la végétation au moment de la mesure, et ainsi, tenir informer les producteurs sur la surface approximative de leur verger.

REMERCIEMENTS

Un grand merci est tout d'abord adressé à Justine Garnodier, sans l'aide de qui la totalité des mesures n'auraient pu être effectuées.

Matthieu Bastianelli a été d'une grande aide lors de la mise en place et l'analyse des données, de par son expérience sur les mesures avec un Lidar sur la vigne

Merci à Jean-Paul Douzals, pour ses conseils et son aide lors de la rédaction de cet article et de l'analyse des données. Des remerciements sont aussi adressés à Jean-François Bonicel et David Bastidon qui ont réalisé le châssis permettant le positionnement du Lidar à l'arrière du tracteur. Enfin, merci aux membres des stations d'expérimentations pour leur accueil durant les journées de mesure.

BIBLIOGRAPHIE

PUBLICATIONS

- Arnó J., Escolà A., Vallès J-M., Llorens J., Sanz R., Masip J., Palacín J., Rosell-Polo J-R. 2013. Leaf area index estimation in vineyards using a ground-based Lidar scanner. *Precision Agric* 14:290–306
- Aubertot J-N., Barbier J-M., Carpentier A., Gril J-J, Guichard L., Lucas P., Savary S., Savini I., Voltz M. 2005. Pesticides, agriculture et environnement : Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Rapport d'expertise INRA et Cemagref.
- Bailey Brian N., Mahaffee Walter F. 2017. Rapid measurement of the three-dimensional distribution of leaf orientation and the leaf angle probability density function using terrestrial Lidar scanning. *Remote Sensing of Environment* 194 63–76.
- Bastianelli M., de Rudnicki V., Codis S., Ribeyrolles X., Naud O. 2017. Two vegetation indicators from 2D ground Lidar scanner compared for predicting spraying deposits on grapevine. EFITA CONGRESS Montpellier, France – 02.07-06.07.2017
- Escolà A., Martínez-Casasnovas J.-A., Rufat J., Arnó J., Amadeu A., Sebé F., Pascual M., Gregorio E., Rosell-Polo J.-R. 2017. Mobile terrestrial laser scanner applications in precision fruticulture/horticulture and tools to extract information from canopy point clouds. *Precision Agric* 18:111–132.

- Llop Jordi , Gil Emilio , Llorens Jordi , Miranda-Fuentes Antonio and Gallart Montserrat, 2016. Testing the Suitability of a Terrestrial 2D Lidar Scanner for Canopy Characterization of Greenhouse Tomato Crops. *Sensors*, 16, 1435.
- Méndez V., Catalán H., Rosell J-R., Arnó J., Sanz R., Tarquis A., 2011. SIMLIDAR - Simulation of Lidar performance in artificially simulated orchards. *Biosystems Engineering* III 72-82.
- Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt, Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie, 2015. Plan ECOPHYTO II.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2015. Repères : Sol et environnement Chiffres clés.
- Règlement (CE) n°1107/2009 du parlement européen et du conseil du 21 octobre 2009 Concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques. *Journal Officiel de l'Union Européenne* L309/3.
- Rosell, J. R., Llorens, J., Sanz, R., Arno, J., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Escolá Alexandre, Camp Ferran, Solanelles Francesc, Felip Gràcia , Gil Emilio, Val Luis, Planas Santiago, Palacín Jordi 2009. Obtaining the three dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial Lidar scanning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(9), 1505-1515.
- Walklate P.J., Cross J.V., Richardson G.M., Baker D.E. 2006. Optimising the adjustment of label-recommended dose rate for orchard spraying. *Crop Protection* 25 1080–1086.
- Walklate P. J., Cross J. Richardson V., G. M., Murray R. A., Baker D. E. 2002. Comparison of Different Spray Volume Deposition Models Using Lidar Measurements of Apple Orchards. *Biosystems Engineering* 82 (3), 253–267

SITES INTERNET

https://www.agro.basf.fr/agroportal/fr/fr/news_2/actualites/reglementation_bonnes_pratiques_actus/201106_Reglementation_europeenne_91_414.html