

**AFPP – 23<sup>e</sup> CONFÉRENCE DU COLUMA**  
**JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES**  
**DIJON – 6, 7 ET 8 DÉCEMBRE 2016**

**LA ROBOTIQUE, UNE VOIE D'AVENIR POUR LE DESHERBAGE DES VIGNES SANS HERBICIDES**

C. GAVIGLIO <sup>(1)</sup>

(1) IFV, VINNOPOLE BP22, 81310 Lisle-sur-Tarn

05 63 33 62 62 – [christophe.gaviglio@vignevin.com](mailto:christophe.gaviglio@vignevin.com)

**RÉSUMÉ**

Avec les herbicides, l'entretien des vignes est relativement simple et peu coûteux lorsque seule la ligne des souches est traitée. La réduction permanente du nombre de molécules disponibles pour le désherbage des vignes et les menaces qui pèsent sur celles encore utilisables poussent les vignerons vers les solutions alternatives. Le désherbage mécanique est une alternative ancienne, efficace, mais synonyme pour de nombreux utilisateurs de difficultés de mise en œuvre et de temps de travail supplémentaire. L'arrêt des herbicides est donc un facteur de surcoût dans l'entretien du sol. La robotisation de l'opération, rendue crédible aujourd'hui grâce à l'émergence de sociétés spécialisées, est une solution d'avenir puisque sa vocation est de rendre plus accessible le désherbage mécanique. Limitation et redistribution du temps de travail des opérateurs, mais aussi redéfinition du travail réalisé sont les principaux atouts de l'utilisation d'un robot. Pour être rentable, il doit être positionné de manière concurrentielle par rapport aux pratiques actuelles et se montrer au moins aussi efficace.

Mots-clés : Désherbage mécanique, robotique, performance économique.

**ABSTRACT**

**ROBOTICS, THE FUTURE OF WEED MANAGEMENT IN VINEYARDS**

The reduction of the number of molecules used for chemical weeding in vineyards, is forcing winegrowers to adopt alternative solutions. Mechanical weeding on the row of vines is excellent, but it has many limitations. To obtain a good result, it takes time, due to the number of interventions needed. Stopping the use of herbicides is considered as a factor of additional cost, whether it is done mechanically or through grass covering. Today, robotics in agriculture and in viticulture seems to be more real than ever, and brings a clever way to manage the vineyard without herbicides. Not only it allows a redistribution of the working force, but it also redefines soil tillage: more frequently but with less depth, causing less impact to the vines, and using less energy. In order to be accepted and widely used, robotics must prove its efficiency and must be economically competitive.

Keywords: Mechanical weeding, robotics, economic performance.

## INTRODUCTION

En matière d'entretien du sol, les évolutions réglementaires ont amené au retrait de l'homologation de nombreuses substances actives et le manque de molécules de substitution constitue une vraie problématique pour les vignerons, même lorsque le désherbage est localisé sous le rang. Le désherbage mécanique est une option à laquelle s'intéressent de nombreux viticulteurs. Depuis 2012, l'IFV a réalisé 25 formations sur ce thème dans tous les vignobles de France. A chaque fois, les freins à l'adoption de cette technique sont mentionnés : temps de travail, difficultés de réglages, nombre d'interventions, impact potentiel sur le rendement (Gaviglio et Gontier, 2013).

La robotique est en train de rentrer dans le monde de l'agriculture, et ses applications sont nombreuses. Robotiser une partie des opérations les plus pénibles, lentes ou répétitives peut être un excellent moyen d'améliorer la performance économique des exploitations d'une part, et être un puissant levier pour l'adoption de techniques alternatives d'autre part. C'est sur la base de ce constat que l'IFV a accompagné *Naïo Technologies*, spécialiste du robot pour le maraîchage, vers le monde de la viticulture, dans un projet visant à développer un robot adapté au désherbage mécanique sous le rang. Ce projet, mené également avec l'appui du LAAS-CNRS (Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes) pour la partie analyse d'image, a bénéficié d'un soutien de la région Midi-Pyrénées depuis 2014. Cet article explique quels sont les avantages compétitifs de la robotique dans ce domaine, détaille quels sont les défis encore à relever et pose un état des lieux du développement de ce projet. A la date de rédaction de cet article, les tests de terrain prévus au moment de la soumission du résumé n'ont pas encore pu être réalisés.

## MATERIEL ET MÉTHODE

### DEFINITION DU CAHIER DES CHARGES POUR UN ROBOT DE DESHERBAGE MECANIQUE

#### Caractéristiques de la gestion mécanique des mauvaises herbes et conséquences

Les principales caractéristiques d'un désherbage mécanique sont (Gaviglio, 2007) :

- La durée d'action est limitée dans le temps et impose de renouveler les interventions fréquemment en fonction de la croissance des adventices et des précipitations.
- L'efficacité est liée au type de flore (vivaces, annuelles), au stade de développement des adventices au moment du passage et à l'état du sol.
- Les réglages et la technicité des opérateurs, l'alignement des outils dans le rang sont autant de facteurs qui influent sur le résultat final et sur le débit de chantier.
- Il existe un risque d'impact négatif sur l'alimentation hydrique et azotée de la vigne compte tenu de l'action des outils près des souches sur les racines et radicules (Gaviglio, 2010).

Par conséquent, pour diminuer le nombre d'interventions, avec un ensemble tracteur-outil-chauffeur classique, la logique est que chaque passage soit le plus impactant possible. C'est le cas avec les itinéraires traditionnels de chausage – déchausage pour lesquels la gestion du déplacement de terre est primordiale pour la maîtrise des mauvaises herbes, et qui implique une profondeur de travail parfois importante (et la puissance de traction associée). Le parti-pris dans la conception du robot de désherbage mécanique est de prendre le contre-pied de cette logique, en concevant un robot capable de réaliser un travail beaucoup plus superficiel, mais aussi beaucoup plus fréquent, pour garantir des conditions de travail toujours favorables. En effet moins il y a d'herbe, moins on a besoin de profondeur, moins on a besoin de puissance, moins il y a de risques de blessures sur les racines et plus le réglage est simple. Avec un travail très superficiel, la vitesse d'avancement est en outre plus facile à optimiser et la dépendance à l'état d'humidité du sol est moindre.

### Nombre d'interventions et tassement du sol

Le choix d'un robot dont le principe est d'intervenir fréquemment impose de raisonner l'impact au sol. Un tracteur équipé d'une paire d'interceps classiques représente une masse de plus de quatre tonnes, répartie au sol sur une zone proche des pieds de vigne. Notre objectif pour le robot est de limiter son poids à moins d'une tonne, avec une répartition au sol différente, éloignée des ceps. L'architecture en U inversé, caractéristique des tracteurs enjambeurs, permet de répartir le poids sur deux inter-rangs lors du passage. Cette architecture modulable en largeur permettra au robot de s'adapter à différents écartements de vignoble.

### Architecture

Outre la répartition des masses au sol, l'architecture en U inversé présente un avantage important pour le travail sous le rang avec des outils interceps. Les outils peuvent être positionnés au centre du bâti, entre les roues, et travaillent sur le même rang, à l'opposé d'une solution qui serait composée d'un module interligne avec des outils latéraux, travaillant sur deux demi-cavallons, sensibles aux écarts de conduite. Ce choix est donc favorable à la stabilité et au centrage des outils, pour un travail régulier. Enfin, puisqu'il s'agit d'un robot, la possibilité de fixer des capteurs au-dessus de la haie foliaire, voire sur les côtés, est un atout pour la fonction guidage, qui a un rôle très important à jouer compte tenu de la précision requise pour le travail sous le rang. En revanche, cette solution est plus complexe à concevoir et à mettre en œuvre qu'un simple robot se déplaçant dans les interlignes car les contraintes mécaniques qui s'exercent sur l'arceau, à cause des éléments moteurs placés de part et d'autre, notamment dans les phases de manœuvres, sont plus fortes.

### Energie

Le choix de l'énergie électrique s'est imposé dans la mesure où il s'agit de l'énergie la mieux maîtrisée par le réalisateur du robot, *Naïo Technologies*. La contrepartie de ce choix est la gestion de l'autonomie et une nécessaire reconception des outils qui n'utilisent pas traditionnellement cette énergie mais plutôt l'hydraulique. Nous serons donc amenés à faire des conversions et à optimiser la conception dans une optique de meilleure utilisation de l'électricité.

### Outils

Le robot enjambeur sera a priori capable de travailler avec plusieurs types d'outils. La priorité sera donnée aux outils passifs, dont l'avantage est de ne demander aucune source d'énergie auxiliaire en dehors de l'avancement. Les outils passifs sont également les premiers à pouvoir être adaptés sur le porte-outils du robot sans modification ou conception spécifique compte-tenu de la source d'énergie électrique sur le robot, alors que l'ensemble des solutions sur le marché utilise l'hydraulique disponible sur les tracteurs. L'objectif de travail est du binage superficiel, à l'image de ce qui est réalisé par un rotor *Kress* par exemple.

Des lames interceps passives à rappel par ressort sur le principe des cure-ceps, sont également à tester. Enfin, pour une adaptation maximale au robot et à la stratégie d'intervention consistant à passer souvent, un module est à concevoir, combinant un système de suivi de sol passif depuis le porte outil (flexibilité et appui vertical avec un ressort réglable) et appui contre la souche avec un ressort de rappel pour le contournement des pieds de vigne. L'outil de désherbage serait plus proche d'un ensemble de griffes légères que d'une lame.

## DEFIS TECHNIQUES A RELEVER POUR LA ROBOTIQUE

Avant d'être déployée massivement sur le terrain, une solution de robotique adaptée au vignoble doit montrer sa capacité à répondre aux questionnements suivants :

### Autonomie énergétique ?

L'autonomie énergétique est un point clé pour le robot. Pour présenter un intérêt pour l'utilisateur, un engin autonome doit assurer au moins une journée de travail avant d'être rechargé, soit 8 à 10 heures minimum. Ce temps de travail dépend à la fois des choix techniques effectués pour les batteries, mais aussi de la consommation énergétique liée à l'avancement et au travail. La fonction de désherbage mécanique, avec des outils en prise directe dans le sol peut représenter un poste de dépense d'énergie important. Nous avons évalué ce besoin, de manière indirecte, à l'aide de mesures de consommation avec des outils passifs utilisés sur un tracteur classique (Gaviglio, 2009, 2015).

### Autonomie de déplacement dans la parcelle, entre parcelles ?

Le déplacement autonome **au sein d'une parcelle** est l'essence même de la robotique. En milieu viticole, l'environnement dans lequel évolue le robot est très structuré par l'implantation des ceps de vigne et des piquets qui définissent les lignes à suivre. Cependant, cet environnement est très changeant avec le développement de la haie foliaire, ce qui rend les repères acquis en début de saison (pas ou très peu de feuillage) non utilisables en plein mois de juillet avec le développement végétatif à son maximum. L'idéal pour le déplacement dans la parcelle est donc de faire appel à la convergence de capteurs : il s'agit de combiner LiDAR (Light Detection And Ranging) (2) et analyse d'image par exemple. La notion de position dans le rang est donnée par l'odométrie (comptage du nombre de rotation des roues). En s'appuyant sur les repères donnés par l'analyse d'image et les capteurs (absence/présence de souche par exemple), le robot sera capable de définir à quel moment engager un cycle de manœuvre de demi-tour, en utilisant un paramètre stable de la parcelle, à savoir l'écartement entre rangs. Si à l'issue de la manœuvre il n'est pas bien aligné face au rang suivant, c'est le système de vision qui prend le relai pour retrouver les repères de guidage.

La technologie GPS n'est pas, pour le moment, intégrée dans le schéma de développement, mais pourrait trouver une application pratique avec le remplacement du DGPS (Differential Global Positioning System) actuel par un DGPS (1) centimétrique en cours de développement au CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), qui devrait permettre d'abaisser fortement le coût d'abonnement.

Le déplacement autonome **entre parcelles au sein d'une exploitation** est bien plus complexe à gérer car il fait appel à une notion de trajet dans des conditions changeantes. Des obstacles peuvent survenir sur le trajet, personnes, animaux ou véhicules, et il faut une intelligence artificielle très évoluée pour gérer ces situations. A terme, le robot devra intégrer cette capacité de transfert autonome de l'exploitation vers les parcelles ou d'une parcelle à l'autre pour apporter encore plus de facilité de gestion à l'utilisateur.

A ce jour, la zone d'activité autonome est restreinte à la parcelle, ou à un lot de parcelles contiguës. Les autres déplacements sont prévus sur remorque (cas du transport sur route) ou avec une commande manuelle sans fil par un opérateur piéton (cas du déplacement sur chemin entre parcelles).

### Sécurité ?

La sécurité d'un engin autonome sans chauffeur dans la vigne est très étroitement liée à son inertie, c'est-à-dire à son poids et à sa vitesse. Le poids, comme nous l'avons vu, sera limité à moins d'une tonne, la vitesse à 3 voire 4 km/h. Le robot doit être capable de s'arrêter sur une distance très faible. La motricité électrique permet de bénéficier d'un frein moteur très fort.

La stabilité du porteur autonome fait partie des questions de sécurité, quelle que soit la pente ou le dévers dans lequel le robot évolue. Le positionnement très bas des batteries - éléments les plus lourds dans un véhicule électrique - dans des compartiments entre roues, de chaque côté du rang de vigne compte tenu de l'architecture en U inversé, est un point favorable.

Indépendamment des capteurs de détection de présence, le robot doit être équipé à ses quatre coins de boutons stop afin qu'un opérateur puisse facilement intervenir à proximité de la machine sans danger.

### Reconception des outils

C'est dans ce domaine qu'il y a le plus d'incertitudes car s'il est possible de s'inspirer de ce qui existe par ailleurs, les porte-outils sont différents et l'animation est soit électrique soit passive, mais pas hydraulique comme sur les matériels existants.

## **RESULTATS**

### **QUEL EST LE ROBOT ISSU DE CE PROJET ?**

Présenté pour la première fois au public lors du salon *Tech & Bio* organisé à Libourne les 7 et 8 juillet 2016, le robot fabriqué par *Näio Technologies* a été dénommé « TED ». Il a reçu un accueil très favorable par le public, à Libourne les 7 et 8 juillet comme au DEVT (Domaine Expérimental Viticole Tarnais, adossé au pôle Sud-Ouest de l'IFV), le 20 juillet.

Il est conçu en deux parties motrices qui contiennent les batteries, reliées par un arceau pour enjamber le rang. Les plaques latérales tournées vers l'intérieur servent de fixation au porte-outils sur lequel seront montés les outils intercepts. Chaque roue est à la fois motrice et directrice, ce qui est garant d'un grand contrôle de motricité et de possibilité de manœuvre très rapide avec peu d'espace. En orientant ses quatre roues dans le même sens, le robot effectue une translation latérale en avançant. En orientant les roues avant et les roues arrière de manière opposée, le robot tourne sur place. Le capteur de vision stéréoscopique est placé en haut de l'arceau pour repérer et suivre l'alignement de la haie foliaire.



Figure 1 : Présentation du robot enjambeur dans les vignes du domaine expérimental, le 20 juillet 2016  
Introduction of the High Clearance Robot in the vineyard on July 20<sup>th</sup>, 2016

#### **QUELLES SONT LES TECHNOLOGIES UTILISEES POUR LE DEPLACEMENT DU ROBOT ?**

Le défi majeur pour un porteur autonome au vignoble est de réaliser la manœuvre de sortie de rang pour reprendre le rang suivant. Pour cela on s'appuie sur différents capteurs, dont la vision et le LiDAR (2). Le LiDAR consiste en un balayage à 180° avec un faisceau de lumière infra-rouge devant le robot, lui permettant d'identifier et de suivre les lignes de cultures, d'identifier les entrées et les fins de rangées, d'éviter les obstacles et de suivre des personnes. Sa portée est de quatre mètres et il est utilisable de jour comme de nuit. En revanche, il ne fait pas la différence entre la culture et les adventices. La vision utilise des caméras stéréo et des capteurs *Aptina*, avec une sensibilité logarithmique à la luminosité. Cela permet de repérer des alignements de plants dans la culture et d'identifier des repères présents dans les parcelles pour réaliser la navigation autonome même sans GPS. C'est la méthode SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) développée avec le LAAS : la navigation utilise des repères stables dans le temps en complément des informations des autres capteurs. Par exemple, un panneau rouge en fin de rang peut être le signal de la manœuvre de demi-tour à réaliser. En revanche ce système de vision demande un éclairage pour fonctionner de nuit et nécessite une forte puissance de calcul pour le traitement des images.



Figure 2 : Image brute et image traitée issue du capteur de vision stéréoscopique utilisé sur le robot.  
Raw and processed pictures from the vision camera of the robot

## L'ENERGIE DISPONIBLE ET SON UTILISATION

### Quelle énergie peut être embarquée sur le robot ?

Dans sa configuration actuelle, le robot est capable d'embarquer 12 batteries capables de délivrer 100 Ah sous 12 V. Montés par 3 en série, cela donne quatre blocs de 36 V – 100 Ah, soit une capacité de 14,4 kWh. En première approximation, la fonction d'avancement avec les quatre moteurs consommerait 7 kW. Cela reste à confirmer mais sur cette base il est possible d'envisager d'utiliser 7 kWh pour la partie « outil de désherbage ».

### Quel est le niveau de puissance demandé par des outils aratoires sur le rang ?

Nos essais de consommation de carburant en conditions de travail avec les outils intercepts nous permettent d'évaluer le besoin énergétique équivalent en kWh. Ainsi, un outil de désherbage mécanique rotatif (animé avec une centrale hydraulique) induit une surconsommation d'environ 1 L de gasoil par heure par rapport au tracteur utilisé à un régime moteur et une vitesse identique sans outil. Cette consommation, compte tenu de la densité énergétique du gasoil (9,8 kWh/L) et du faible rendement de la chaîne de transmission combinée hydraulique et mécanique (de 13 à 16 %) correspond à une demande d'énergie utile de 1,5 kWh. Pour faire une conversion vers l'énergie nécessaire sur un robot, il faut prendre en compte le rendement d'une chaîne de transmission électrique qui peut se situer autour de 65 % (moteur électrique 0,8 – transmission mécanique 0,9 – transport de l'électricité 0,9). On obtient ainsi la valeur de 2,3 kWh, avec le type d'outil le plus gourmand en énergie compte tenu de la rotation par animation hydraulique. Les outils les plus passifs testés consomment jusqu'à 45 % de moins et ne demanderaient donc en théorie que 1,26 kWh.

Ces estimations seront à confirmer avec des tests de terrain dès que le prototype le permettra.

## QUEL SERAIT LE COUT D'USAGE POUR UN ROBOT VIGNERON ?

Le coût d'usage dépend de nombreux paramètres, dont le prix initial du robot et le prix des accessoires qui lui permettent de travailler. Néanmoins, tout est mis en œuvre pour que la solution de robotique proposée soit compétitive avec l'existant, car c'est la raison d'être des robots. Nous

avons réalisé des simulations de coûts de revient pour le désherbage mécanique sous le rang, première application développée sur le robot. Ce choix a été fait compte tenu de la difficulté pour les vignerons d'utiliser les méthodes alternatives au désherbage chimique, notamment pour des raisons de temps de travail nécessaire et de réorganisation sur les exploitations. Avec un tracteur vigneron et des outils traditionnels, l'objectif est de passer le moins souvent possible pour réduire cette contrainte. Le travail réalisé doit donc être suffisamment important pour ne pas le reproduire trop souvent. Avec un robot, l'approche est différente : les passages peuvent être plus répétés et plus légers, pour entretenir un désherbage sur des adventices très jeunes, avec un travail très superficiel. Les hypothèses retenues pour le calcul des coûts sont donc très éloignées, tant sur le nombre d'interventions que sur la surface réalisable. Pour les 3 stratégies évaluées, il s'agit de coûts prenant en compte la main d'œuvre, les amortissements, l'entretien, la traction et les fournitures. Cela montre qu'il est possible de positionner le désherbage mécanique robotisé de façon tout à fait compétitive par rapport à une solution mécanique classique. Le coût reste plus élevé que le désherbage chimique, mais présente l'avantage de libérer du temps de travail pour les opérateurs.

Stratégie	Nombre d'interventions	Surface de travail	Coût annuel du désherbage /ha
Mécanique	4	15 ha	431,5 €
Robotique	> 10	20 ha	305,8 €
Chimique	2	25 ha	201,4€

Tableau I : Coûts comparés des méthodes de désherbage sous le rang  
Cost comparison of weed management methods under the row

Ces chiffres ont été établis sur la base d'une utilisation du robot uniquement pour le désherbage mécanique. Avec le développement de la polyvalence du robot prévu dans le cadre du programme ROVIPO financé par le CASDAR, l'amortissement du porteur autonome sera réparti sur des tâches plus nombreuses et le coût de chacune des opérations en sera mécaniquement réduit. Les autres tâches envisageables sont la tonte, l'épamprage, les traitements, la prétaille ou la Taille Rase de Précision (TRP).

## DISCUSSION

### QUELS SONT LES AVANTAGES A L'UTILISATION DES ROBOTS ?

L'intérêt socio-économique de l'utilisation d'un robot au vignoble est multiple :

- Baisse ou suppression de la pénibilité de certaines tâches rendant possible une éventuelle conversion en Agriculture Biologique.
- Baisse des charges pour l'exploitant : compétitivité.
- Réaffectation du temps de travail au vignoble vers des tâches commerciales ou de gestion, pour une meilleure valorisation de la production.
- Diminution des expositions de l'opérateur pour des opérations de traitement (herbicides, fongicides), gain sanitaire.
- Détection des symptômes par le robot qui réduit les nécessaires temps d'observation au vignoble dans le cadre de la lutte raisonnée.

L'arrivée de la robotique au vignoble donne une perspective de maintien de surfaces en production pour des groupes coopératifs. En effet, l'arrivée d'innovations comme le robot, rendant le travail moins pénible et plus attractif, est un moyen d'inciter les jeunes exploitants à prendre la succession de leurs parents.

Enfin l'utilisation d'un robot viticole est favorable sur le plan environnemental car :

- Il est plus léger qu'un tracteur classique et tasse moins le sol.
- Il consomme moins d'énergie et dans le cas d'une motricité électrique, peut être rechargé par des moyens de production d'électricité renouvelable (hangar photovoltaïque, éolienne) directement sur l'exploitation.
- Il permet d'utiliser des méthodes alternatives au désherbage chimique avec moins de contraintes.
- Il nécessite peu de maintenance sur le porteur (motorisation électrique, fiable et robuste, les seuls entretiens sont les charbons moteurs au bout de 5 000 h et les motoréducteurs au bout de 15 000 h)

Pour résumer, la perspective d'utiliser des robots permet d'envisager la durabilité de l'exploitation viticole, en ayant beaucoup moins recours aux énergies fossiles et aux intrants chimiques, tout en préservant la structure des sols. Cette perspective plaide pour le développement de robots polyvalents.

QUELS SONT LES FREINS A L'UTILISATION DES ROBOTS ?

Un robot qui travaille seul dans les vignes peut faire l'objet de dégradation volontaire et le risque d'un accident est aussi présent. Le niveau de technicité requis pour intervenir sur la machine peut être un peu effrayant pour les exploitants car il y a un saut technologique important. L'existence d'un réseau formé à ces nouvelles technologies au moment de la commercialisation sera indispensable pour accompagner et rassurer les premiers utilisateurs.

## **CONCLUSION**

Le robot est porteur de promesses mais doit encore faire ses preuves sur le terrain et trouver son modèle économique : adoption par les plus férus de technologie, par les plus aisés ou par ceux qui en ont le plus besoin pour l'équilibre de la charge de travail sur leurs exploitations ? Le robot remplacera-t-il le tracteur ou sera-t-il un simple assistant ? Dans un contexte viticole en mutation face aux défis environnementaux et économiques, cette nouvelle forme de mécanisation sera attentivement scrutée et pourra vraisemblablement pousser les différents acteurs de l'agrofourmiture à la reconception d'outils dédiés, mais aussi à la reconception d'itinéraires de production.

## **REMERCIEMENTS**

La région Midi-Pyrénées (Occitanie) pour son soutien financier, NAIIO-TECHNOLOGIES pour la construction d'un premier prototype de robot enjambeur pour la vigne, le LAAS pour l'intégration des capacités d'analyse d'image.

(1) DGPS : Differential Global Positioning System. Le GPS est limité en précision compte tenu de la dérive du signal. Le DGPS utilise une borne fixe dont la position est connue précisément pour apporter une correction en temps réel à l'antenne GPS en déplacement. Cela permet d'apporter une précision centimétrique là où la plupart des GPS ne peuvent donner une position qu'avec une précision de 30 cm à 1 m.

(2) LiDAR : Light Detection And Ranging. Il s'agit d'un dispositif de mesure de la distance, similaire dans son principe à un radar, mais qui utilise de la lumière infra-rouge à la place des ondes radio. Il est composé d'un émetteur qui illumine la cible (ou les objets alentour) et d'un récepteur.

## **BIBLIOGRAPHIE**

*Gaviglio C., 2007, Alternatives au désherbage chimique : quelles stratégies pour l'entretien mécanique des vignes, Vingtième conférence du COLUMA, Dijon*

*Gaviglio C., 2010, Impact technico-économique du désherbage mécanique sous le rang de vigne, synthèse de 5 années d'essais, Vingtième et Unième Conférence du COLUMA, Dijon*

*Gaviglio C., Gontier L., 2013, Conduite de la vigne sans herbicides : des résultats agronomiques en micro-parcelles au transfert à grande échelle, une remise en question de l'organisation du travail, Vingt Deuxième Conférence du COLUMA, Dijon*

*Gaviglio C., Kerner S., 2009, Performance énergétique des exploitations viticoles : mise en place d'un centre de mesures de la consommation des matériels viticoles, ECOTECH'S 2009 Montoldre*

*Gaviglio C., 2015, Consommation de carburant au vignoble : évaluation de l'efficacité des technologies et des réglages, GiESCO, Narbonne*