



HAL
open science

ROVIPO -Le Robot Viticole Polyvalent

Christophe Gaviglio, Thibaut Delcroix

► **To cite this version:**

Christophe Gaviglio, Thibaut Delcroix. ROVIPO -Le Robot Viticole Polyvalent. Innovations Agronomiques, 2021, 82, pp.356-367. 10.15454/nqds-ww92 . hal-04674681

HAL Id: hal-04674681

<https://hal.inrae.fr/hal-04674681v1>

Submitted on 21 Aug 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

ROVIPO - Le Robot Viticole Polyvalent

Gaviglio C.¹, Delcroix T.²

¹ IFV (Institut Français de la vigne et du Vin), IFV pôle Sud-Ouest, F- 81310 Brames Aigues

² Naïo Technologies, F-31750 Escalquens

Correspondance : christophe.gaviglio@vignevin.com

Résumé

L'arrivée de la robotique au vignoble s'est construite autour de la problématique de l'entretien du sol sans herbicide. Un robot de binage libère beaucoup de temps pour les utilisateurs. Cependant, la validité économique de cette solution est difficile à trouver avec une seule application pour le robot. Nous avons évalué l'intérêt et la faisabilité d'intégrer des solutions de tonte, d'épamprage ou de pulvérisation, en prenant en compte les contraintes de dimensionnement liées au robot, pour atteindre la rentabilité plus facilement. En outre, nous avons pu tester la compatibilité du robot avec l'usage de capteurs permettant de caractériser la vigueur (Physiocap®), de détecter les pampres, de détecter les vivaces pour l'entretien du sol, et de détecter le mildiou. Ce projet mené par l'IFV avec Naïo Technologies et le LAAS a permis d'identifier des cas d'usage et des modalités de mise en œuvre pratique, mais l'adaptation du matériel pour le robot reste une difficulté à résoudre compte tenu de l'évolution constante des prototypes.

Mots-clés : Robotique, polyvalence, tonte, épamprage, pulvérisation, binage, capteurs, détection, rentabilité, baisse d'intrants.

Abstract: ROVIPO, the versatile vine robot

Soil management and alternatives to the use of herbicides are the reasons why robotics enters in the vineyards. A mechanical weeding robot is helpful to save time for viticulturists. However, profitability is not achieved with only one task. We have assessed the possibility to add more services to the robot, like spraying, mowing, shoots removing and data collection with sensors, in order to make it more profitable. This project, conducted by IFV with Naïo Technologies and the LAAS laboratory, has identified the use cases and practical constraints to obtain a more versatile and more profitable robot, but there is still a lot to do to achieve the perfect adaptation of the equipment to the robot.

Keywords: Robotics, versatility, mowing, shoots removing, spraying, hoeing, sensors, detection, profitability, lower inputs.

Introduction

L'entretien du vignoble sans herbicides fait appel à des méthodes alternatives qui ont peu ou pas de persistance d'action, et qui demandent donc plus de temps de travail. Une des solutions à cette problématique est de robotiser le désherbage mécanique sur le cavaillon (Gaviglio, 2016). Naïo Technologies a développé un robot, Ted, avec cet objectif. Cependant il paraît difficile avec cette innovation de rupture de trouver une rentabilité sur la seule opération de désherbage (Gaviglio, 2019). La conception du robot, qui enjambe le rang pour mieux travailler le cavaillon, semble favorable au développement d'autres applications pour le robot, comme la tonte, l'épamprage ou encore la pulvérisation, grâce à la proximité avec la végétation. Cette polyvalence permettrait, en plus d'abaisser le coût d'usage du robot, de travailler la vigne avec encore moins d'intrants. En outre, il apparaît que si l'usage du robot s'amplifie, les interventions et observations humaines seront de moins en moins nombreuses. Il serait donc particulièrement pertinent de profiter des passages répétés du robot pour collecter des données de manière automatique, sur l'état sanitaire du vignoble par exemple (Gaviglio,

2019). Les questions posées par l'ajout de nouvelles tâches sont liées à la conception du robot qui est très éloignée de celle d'un tracteur par exemple. L'énergie est électrique, l'attelage des outils est spécifique, et on ne peut pas utiliser de branchements hydrauliques comme sur un tracteur. De ce fait, l'impact sur la consommation électrique doit être pris en compte dès le départ pour ne pas compromettre l'autonomie de fonctionnement. Le mode opératoire peut aussi être remis en question par l'usage d'un robot : quelles sont les fréquences et intensités d'intervention possible ? En ce qui concerne les capteurs, les questions posées concernent plus la compatibilité avec les fixations disponibles sur le robot et la faisabilité des acquisitions dans de bonnes conditions compte tenu de la vitesse d'avancement et des vibrations.

Les objectifs du projet sont de définir les solutions les plus pertinentes et adaptées au robot, de les tester au champ et de chiffrer l'impact sur les économies d'intrants et la rentabilité économique de l'usage du robot.

Dans le partenariat, l'IFV apporte son expertise métier sur les cas d'usage et les matériels, Naïo fournit le robot et teste les différentes applications, et le LAAS a la charge de la partie « capteurs et analyse d'image ».

1. La démarche : matériel, méthode, outils

1.1 Le robot

Le robot de Naïo Technologies, Ted (Figure 1), est la base roulante de tous nos essais avec les capteurs. Ses caractéristiques de puissance, de capacité électrique ont guidé toutes nos réflexions et nos essais de techniques culturales adaptables sur le robot. Ses caractéristiques principales sont :

- 14,4 kWh de batteries ;
- 900 kg sans outils ;
- Arceau pour enjamber le rang de vigne ;
- Support de porte-outils à l'arrière (avec relevage mobile), au centre (fixe), devant (fixe), sur arceau (fixe) ;
- Faibles vitesses de passage (entre 3 et 4 km/h) ;
- Précision du positionnement (objectif d'un positionnement du porteur précis à 5 cm de la cible, par exemple la ligne des ceps pour le travail du sol) ;
- Pour assurer la motricité, le porteur est équipé de 4 moteurs de 600 W (fonctionnant en 36 Volts). La seule fonction de motricité de l'outil consomme 7 kWh sur 8 heures. Il reste donc une énergie de 7 kWh pour le fonctionnement des divers outils ;
- Capacité à emporter du poids, limitée à 200 kg.



Figure 1 : Robot viticole TED de Naïo Technologies

1.2 Le domaine expérimental

Les parcelles expérimentales du DEVT (Domaine Expérimental Viticole Tarnais, Figure 2) ont été le support de nos essais. Il se situe dans le Tarn (81), et dispose d'une surface de 15 hectares de vignes, avec des configurations de parcelles assez différentes.



Figure 2: Parcellaire du domaine expérimental viticole tarnais

1.3 Protocoles

Pour chaque aspect de la polyvalence étudié, nous avons mis en place un protocole particulier. Pour l'épamprage et la tonte, nous avons simulé le passage du robot avec des outils compatibles en termes de puissance et de dimensions. Nous avons fait varier la fréquence ou l'intensité de l'action de tonte ou d'épamprage pour déterminer le meilleur schéma d'utilisation avec le robot. Pour la pulvérisation, il s'agit seulement d'une étude technique sur la base des caractéristiques connues du robot et des contraintes de la pulvérisation : volume de bouillie appliqué par hectare, type de pulvérisation, brassage du feuillage, etc.

2. Résultats

2.1 Rendre le robot plus polyvalent dans son travail au vignoble.

2.1.1 Evaluation économique de l'ajout de nouvelles fonctions sur le robot

Nous sommes partis de l'évaluation des coûts d'usage du robot de désherbage mécanique avec des hypothèses crédibles sur le prix, l'amortissement, la performance, la surface travaillée et le temps de travail des opérateurs qui déplacent, rechargent et entretiennent le robot.

- Prix robot + outils : 120 k€
- Amortissement comptable : 5 ans
- Surface affectée : 20 - 40 ha
- Performance : 4 ha / j
- Besoin de main d'œuvre par jour de travail : 1 h
- Énergie consommée : €

L'évaluation économique de l'apport des différentes fonctions sur le robot est réalisée avec un fichier Excel entièrement paramétrable. Ce fichier nommé RentabiliTED.xlsx (Figure 3) a été mis à disposition de l'équipe Naïo par l'IFV. Il met notamment en lumière l'enjeu important d'optimiser les temps de manœuvres afin que le robot soit plus rentable. Outre l'aspect financier, il prend en compte le calcul du temps de travail « libéré » par le robot, le temps d'accompagnement humain, la configuration de travail des outils.

OPERATION EPAMPAGE		robot	tracteur	C'est le module à travailler
nombre de rangs par passage		1	1	
Vitesse de travail		2,5	2,5	km/h
consommation énergétique (électricité - gasoil)		1,5	3,6	Kwh/h - L/h
nombre d'interventions		4	2	
Prix matériel		4000	15000	€
Temps de travail par ha épamprage		1,8	1,8	
temps de manœuvres par ha		0,2	0,4	
temps total par ha		2,0	2,2	
temps total exploitation		49,7	54,5	
temps de changement de parcelles		1,3	0,4	
temps annuel exploitation		203,9	109,9	
OPERATION PULVE		robot	tracteur	
nombre de rangs par passage		1	2	FACTEUR IMPORTANT
Vitesse de travail		4	5,5	
consommation énergétique (électricité - gasoil)		1,5	12	
nombre d'interventions		8	8	
Prix matériel		4000	38000	NB : pulvé confinée
Temps de travail par ha pulvé		1,1	0,4	
temps de manœuvres par ha		0,2	0,1	
temps total par ha		1,3	0,5	
temps total exploitation		32,7	12,4	
temps de changement de parcelles		1,3	0,4	
temps annuel exploitation		271,4	102,5	
Remplissage des cuves à ajouter !				
OPERATION TONTE		robot	tracteur	
nombre de rangs par passage		1	1	
Vitesse de travail		4	6	
consommation énergétique (électricité - gasoil)		2	6	
nombre d'interventions		5	3	
Prix matériel		2000	5000	
Temps de travail par ha tonte		1,1	0,8	
temps de manœuvres par ha		0,2	0,2	
temps total par ha		1,3	0,9	
temps total exploitation		32,7	22,7	
temps de changement de parcelles		1,3	0,4	

Figure 3 : Capture d'écran du simulateur "rentabilited.xlsx"

Il apparaît que 90 % du coût d'usage du robot est lié à l'achat pour le seul usage « binage ». Dans ces conditions, il faut un minimum de 40 ha pour se rapprocher des coûts constatés en désherbage mécanique avec un tracteur. Les leviers pour un meilleur retour sur investissement sont donc le prix d'achat, la surface affectée au robot (qui dépend de sa performance) et le développement de la polyvalence d'usage. En effet, en augmentant le temps de travail du robot, on abaisse le coût horaire de celui-ci. Ou plus simplement, comme 90 % des coûts sont liés à l'amortissement du robot, c'est-à-dire des charges incompressibles, cela permet d'amortir l'achat sur plus d'opérations. Nous avons établi (Tableau 1) que l'ajout de la seule fonction de la tonte des inter-rangs, permet au robot d'être au moins aussi compétitif que le tracteur sans augmenter la surface travaillée (20 ha). Comme ces deux opérations pourraient être combinées, le gain est potentiellement plus important. Si on ajoute la fonction d'épamprage, le résultat économique est encore meilleur, sans mentionner le temps gagné par an qui, sur 20 hectares, peut se chiffrer à plus de 250 heures.

Tableau 1 : Coût horaire du robot selon les opérations qui lui sont affectées

	Coût horaire du robot / 20 ha
Binage seul	38 €
Binage + tonte	22 €
Binage + épamprage	25 €
Binage + tonte + épamprage	17 €

Le développement de la polyvalence est donc intéressant, mais il faut être conscient qu'affecter plus d'opérations au robot a un impact sur l'organisation du travail. Utiliser plus d'outils signifie plus de maintenance pour atteler ou déteiler chacun d'entre eux, à une période pendant laquelle il y a une concurrence entre opérations : quand il faut biner il faut aussi tondre, puis épamprer. Si la performance du robot est limitante par rapport à la surface affectée, alors certaines tâches ne seront pas réalisées correctement. Cela impliquerait de réduire la surface de travail du robot pour pouvoir enchaîner chaque tâche, ou d'être capable de combiner les interventions.

2.1.2 Evaluation technique d'un cas d'usage pour le robot sur la tonte du cavaillon : est-il plus intéressant de tondre ras et fréquemment ?

La tonte du cavaillon fait partie des solutions identifiées car ce serait une solution innovante compatible avec le robot pour maîtriser le développement des adventices. L'enjeu est d'identifier le cas d'usage pertinent : est-il plus pertinent de tondre fréquemment et ras (ce qui est possible avec un robot) ou faut-il au contraire réaliser des tontes plus espacées pour moins solliciter la croissance des adventices ? Nous avons testé ce cas d'usage pour le robot pendant 3 ans, dans un contexte d'enherbement total (Figure 4), avec la gestion du cavaillon comme facteur de comparaison.



Figure 4 : Illustration de la différence de hauteur de tonte

Nous avons comparé des tontes mensuelles, hebdomadaires et raisonnées (suivant la hauteur). Sur la période de culture et de suivi de l'essai, les tontes hebdomadaires (rases ou hautes) représentent 14 interventions, ce qui n'est envisageable qu'avec un robot car cela représenterait un temps de travail considérable. On arrive à un total de 6 tontes avec la modalité systématique mensuelle contre 2 pour la modalité raisonnée. L'évolution de la couverture herbacée en fonction des modalités de tonte est présentée sur la Figure 5. La réponse agronomique à ces différents modes de tontes permet de définir le type de machine cohérente pour une association avec le robot.

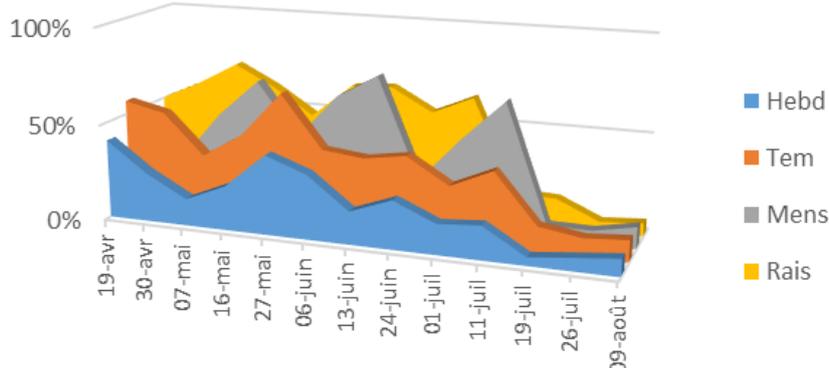


Figure 5 : Evolution de la couverture au sol selon les modalités de tonte : Hebdomadaire rase (Hebd), Mensuelle rase (Mens), Raisonnée (Rais) et Hebdomadaire mais haute (Tem).

Nos résultats (Tableau 2) montrent que, pour une fréquence de tonte identique hebdomadaire, la meilleure maîtrise de la concurrence hydro azotée est obtenue avec une tonte très rase qui limite le développement végétatif au sol. Une tonte, même hebdomadaire, dans un plan horizontal, est très pénalisante pour le rendement et la vigueur, mais un peu moins que des tontes seulement mensuelles.

Tableau 2 : Résultats agronomiques sur le rendement de la vigne selon les modalités de tonte intercepts

Valeurs moyennes	Hebdomadaire – ras	Mensuel – ras	Raisonné	Tem (hebdomadaire haut)
Nombre de grappes par souche	12,06	10,27	11,21	11,36
Poids de récolte par souche	2,95	1,72	2,26	2,37

Ainsi, la gestion du cavillon par une tonte robotisée ne peut pas être envisagée autrement que par un système de brosses qui, sans travailler le sol, sont suffisamment abrasives pour limiter l'emprise au sol et la hauteur de développement des couverts.

2.1.3 Evaluation technique de l'épamprage mécanique avec le robot : une solution simple et passive est-elle plus judicieuse qu'un outil animé ? Quel impact de la fréquence d'intervention ?

Nous faisons l'hypothèse que les pampres étant plus faciles à éliminer lorsqu'ils sont jeunes et tendres (Figure 6), une stratégie de détection précoce et de destruction mécanique passive avec des brosses est plus intéressante que d'attendre un stade de développement avancé pour intervenir avec une machine active (animée par un moteur). C'est une hypothèse qui cadre avec la réflexion globale autour de l'économie d'énergie sur le robot. Nous avons mis en place un essai en bandes, avec 3 modalités de gestion des pampres différentes :

- Passage toutes les semaines (7J)
- Passage toutes les 2 semaines (14J)
- Passage tous les mois (30J)

Chaque semaine un comptage du nombre de pampres par pied a été effectué sur chaque modalité avec dénombrement par classe de pampres (1, 2, 3, 4 suivant leur taille), en s'inspirant de la méthode CEB 251 (Commission des Essais Biologiques) sur l'élimination des rejets. Cette méthode reconnue dans la communauté scientifique détermine les protocoles les plus adaptés à l'évaluation de méthodes ou pratiques d'épamprage. En effet, les pampres de classe 1 et 2 (jusqu'à 10 – 15 cm) sont plus faciles à détruire, au-delà, il faut plus de puissance. Sur ce dispositif en bande, nous avons pour chaque notation et chaque modalité entre 40 et 50 pieds de vigne à noter.



Figure 6 : Pampres à la base du tronc

L'application d'une stratégie d'intervention très précoce avec des passages fréquents implique de commencer le travail d'épamprage dès le 27 avril alors qu'il est d'usage chez les vignerons de débiter mi-mai. Nous arrivons à un total de 7 interventions d'épamprage avec la modalité 7J, contre 4 pour la modalité 14J et 3 pour 30J. Pour les deux dernières modalités nous aurions pu démarrer plus tard sur des pampres plus développés.

Le premier constat est que, quelle que soit la stratégie mise en place, le fait de commencer tôt sur de très jeunes pampres ne permet pas d'avoir une maîtrise complète des nouvelles sorties, puisque ces dernières imposent de nouvelles interventions jusqu'à mi-juin au minimum. Nous constatons que la modalité 7J permet certes de maintenir un nombre moyen de pampres par pied très faible de semaine en semaine, mais sans parvenir à tout éliminer à chaque fois. Une très forte sortie de pampres (de classe 1) a été observée entre le 18 et le 24 mai (Figure 7).

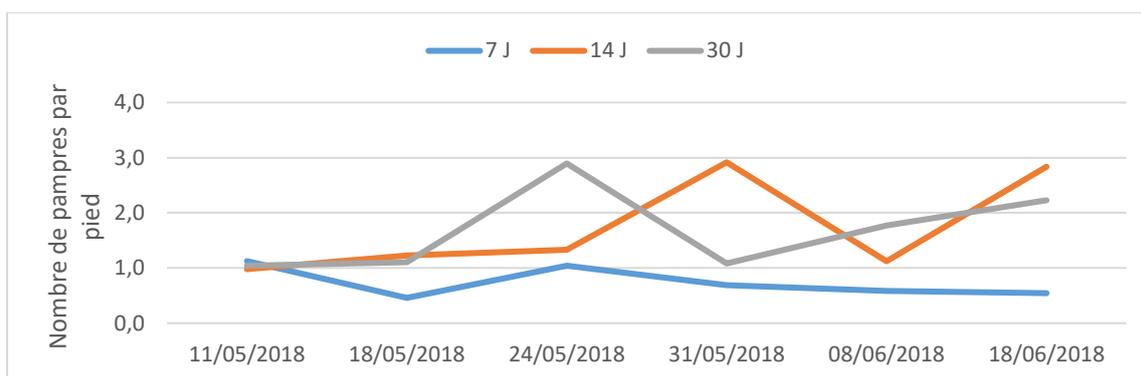


Figure 7 : Evolution du nombre de pampres suivant la stratégie retenue.

Le nombre total de pampres observé par modalité permet de visualiser la proportion de pampres des différentes classes, les plus difficiles à éliminer étant les plus grands (classe 4). Notre hypothèse de maintien de conditions d'élimination des pampres simples par une action passive sur de jeunes pousses est validée sur le plan du nombre et de la répartition par taille, mais en revanche la fréquence de renouvellement de 7 jours n'est pas nécessaire car on obtient des résultats équivalents en termes de facilité d'élimination avec une fréquence de 14 J (très peu de grands pampres).

De plus, avec la fréquence de 7 jours, les nouveaux pampres présents chaque semaine sont certes plus fragiles mais aussi moins accessibles pour un processus de destruction passif lorsqu'ils partent de très près du sol. Contrairement à notre hypothèse de départ, il ne semble pas y avoir de bénéfice particulier à l'utilisation d'une solution passive d'épamprage sur le robot, car même réalisée de manière précoce et toutes les semaines, il n'y a pas de garantie d'un travail complet sur tous les pampres et le nombre d'interventions requises est important (7). Une fréquence de passage de 14 jours déclenchée un peu plus tard permettrait de limiter le nombre des interventions à 3, avec toutefois le risque de devoir gérer des pampres plus difficiles à éliminer pour une solution passive (développement des pampres de classes 2, 3 et 4 dans la modalité 14 J). Une solution de brossage actif du pied serait donc plus pertinente pour assurer un épamprage complet avec moins d'interventions. Il faut néanmoins compter 2 à 3 interventions par an minimum avec le robot.

2.1.4 Evaluation de l'opportunité de rajouter une cellule de pulvérisation sur un robot

La cellule de pulvérisation embarquée sur le robot a fait l'objet de travaux de réflexion et de dimensionnement courant 2017 puis en 2019. Il a été établi que le système doit être confiné, avec des panneaux récupérateurs pour limiter le volume de bouillie à embarquer. Le tableau suivant (Tableau 3) montre en effet la capacité de surface traitée avec un plein de bouillie de 200 L en fonction du stade d'application, du nombre d'étages de diffuseurs ouverts et du taux de récupération réel pour un appareil traitant à 150 L/ha en plein.

Tableau 3 : Traitements avec récupération volumes réels appliqués selon le stade et nombre de remplissages nécessaires pour un robot

Numéro du traitement	Nombre d'étages de diffuseurs	Taux de récupération	Volume /ha	Autonomie de pulvérisation (ha)	Nombre de remplissages pour 25 ha
1er	1	60%	15	13,3	2
2ème	1	60%	15	13,3	2
3ème	2	40%	45	4,4	6
4ème	2	40%	45	4,4	6
5ème	3	20%	90	2,2	12
6ème	4	20%	120	1,7	15
7ème	4	10%	135	1,5	17
8ème	4	10%	135	1,5	17

Le robot est pleinement pertinent jusqu'à 40 % de récupération, mais au-delà, et en restant sur cette capacité de charge, le nombre de remplissages serait trop important pour un vignoble de 25 ha. Cela ouvre la réflexion au besoin d'un robot totalement dédié à la pulvérisation pour que ses caractéristiques soient moins limitantes.

Avec le concours de la société Dhugues nous avons pu concrètement élaborer des pistes techniques pour répondre au défi d'embarquer une cellule de pulvérisation sur le robot Ted, avec ses contraintes de taille et de puissance disponible : jet projeté uniquement avec buses proches de la végétation (30 cm), brassage pneumatique avec de l'air comprimé ou ouverture mécanique de la végétation pour limiter la puissance nécessaire. En résumé, il ressort de ces travaux que l'implantation d'une cellule de pulvérisation sur un porteur électrique (dont l'emport d'énergie et de masses est limité) est possible grâce à une reconception totale, à la fois du système d'agitation du feuillage et d'application de la bouillie pour éviter l'écueil d'une soufflerie très énergivore, habituellement employée par les constructeurs de pulvérisateurs.

Un travail de collecte d'information sur les pompes électriques disponibles et leur consommation montre que l'on peut utiliser du jet projeté avec un très faible coût énergétique, grâce à la proximité avec la végétation. Il apparaît également que la gestion des volumes de cuve, de part et d'autre de l'appareil, devra être équilibrée pour éviter de déstabiliser le robot, rendant indispensable la présence de débitmètres pour monitorer l'application. Ainsi, s'il n'y a pas de difficulté matérielle dans la conception d'un tel appareil, les automatismes associés et l'étanchéité vis-à-vis des composants du robot représentent peut-être le défi le plus important.

2.2 Collecte de données par le robot : les capteurs embarqués

2.2.1 Détection des pampres

Cette application a été pensée en complément de l'étude sur la meilleure façon d'épamprer avec le robot. Puisque l'énergie est limitée, et qu'il faudra utiliser des brosses actives plutôt que passives, on a tout intérêt à ne déclencher l'animation de la machine que lorsqu'il y a des pampres à éliminer, même de petite taille. Une étude a donc été menée par le LAAS sur la détection automatique des pampres en utilisant la technique du *machine learning* sur des images.

Cette méthode a été plus concluante que la segmentation d'images (couleur et texture) et pourrait être transférée à Naïo Technologies pour une automatisation future de l'épamprage mécanique. Accessoirement, le système serait capable de détecter les troncs, et donc également l'absence de troncs, pour un comptage des manquants très précis et géolocalisé.

2.2.2 Mesure de la vigueur en hiver : l'intégration du capteur physiocap

Le test mené conjointement avec Naïo Technologies et la participation de Fruition pour la mise à disposition capteur visait à évaluer la pertinence de l'acquisition de données avec le capteur Physiocap® grâce au robot et sur la base de sa structure qui enjambe le rang (Figure 8). Il s'est déroulé en février dans les vignes du vignoble expérimental de l'IFV. Pour rappel, ce capteur est muni d'un système émetteur – récepteur qui passe de part et d'autre du rang de vigne en hiver, pour caractériser le nombre de sarments et le diamètre moyen de ceux-ci, avec une géolocalisation et une indication de la vigueur de la vigne. Les sarments interceptent le rayonnement émis, créant des zones d'ombres sur le récepteur, qui sont mesurées. La régularité de l'acquisition dépend de l'alignement parfait entre l'émetteur et le récepteur, quels que soient les mouvements du robot.



Figure 8 : Montage et utilisation du capteur Physiocap® sur le robot Ted

La partie intégration électrique et capteur a été réalisée par Naïo et Fruition. Sur la photo de droite (Figure 8), l'émetteur et le récepteur sont positionnés sous les caches rouges. Les rangs d'essais ont été caractérisés par l'IFV avant le passage du capteur, à l'aide d'un dénombrement manuel et d'une mesure des diamètres de sarments réalisée au pied à coulisse, pour chaque entre-piquet. Ces 2 mesures directes combinées dans une troisième, l'indice de biomasse, correspondent aux données que peut fournir le capteur Physiocap® pour créer des cartes avec un zonage. Nous avons fait travailler le robot équipé du capteur sur les mêmes rangs pour pouvoir comparer les acquisitions et valider que le positionnement sur le robot permet, malgré la torsion éventuelle du châssis, malgré les mouvements, d'obtenir des chiffres de manière régulière. Les résultats, traités avec l'extension Physiocap de Qgis, se présentent de la manière suivante (Figure 9) :

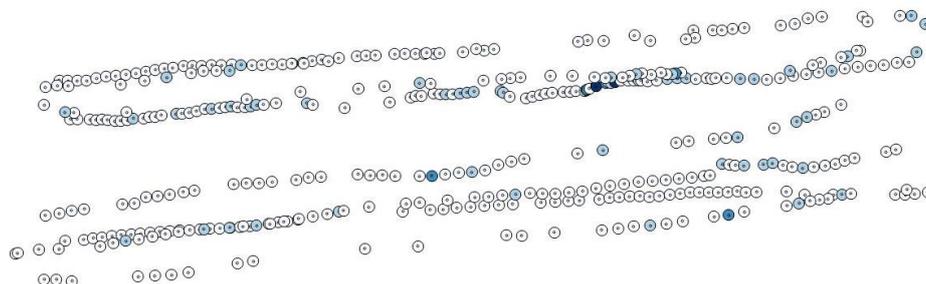


Figure 9 : Capture d'écran de QGIS pour la répartition spatiale de la biomasse de sarments

La stabilité de l'acquisition n'est pas parfaite : sur certains rangs l'acquisition a été doublée et montre quelques écarts de valeurs dans la superposition des points. Si l'intérêt de faire réaliser une mesure de manière automatique avec le robot n'est pas démentie, le mode de fixation du capteur sur le robot est à améliorer, en conservant la hauteur fixée par le châssis du robot qui correspond bien à la hauteur de scan des sarments. Rappelons enfin que l'intérêt de coupler ce capteur avec le robot est d'obtenir un zonage automatique de la vigueur et donc de réaliser une interpolation des points pour avoir une carte exploitable.

2.2.3 Détection et zonage des adventices problématiques en situation de désherbage mécanique avec l'intégration du capteur Carbon Bee : application à la potentille rampante

Utiliser les fréquentes sorties du robot dans le vignoble pour être capable de détecter des adventices problématiques peut être un atout quand on sait que le désherbage mécanique peut conduire à des difficultés de gestion des vivaces. Nous avons testé l'assemblage robot-capteur Carbon Bee (Figure 10) dans l'objectif de déterminer si les prises de vues étaient suffisamment qualitatives pour faire tourner l'intelligence artificielle et détecter la potentille rampante (Figure 11), qui possède une forme de feuille très caractéristique. L'action s'est déroulée en 4 étapes : définition de la position sur le robot, lancement d'acquisition d'images d'apprentissage, labellisation d'images pour entraîner l'IA, et tests de prises de vue autonomes avec le robot pour cartographier la problématique. Les résultats montrent qu'avec un nombre limité d'images d'entraînement, on arrive à une détection correcte de la problématique visée, avec un positionnement sur le robot relativement simple.



Figure 10 : Etape de paramétrage des capteurs Carbon Bee sur le robot



Figure 11: Potentille rampante, cible de la détection



Figure 12 : Cartographie de la détection de la potentille obtenue avec le robot équipé des capteurs Carbon Bee

Sur cette image (Figure 12), on observe des points jaunes qui correspondent à des jalons posés aux endroits où l'on est sûr de trouver de la potentille, et des points rouges qui correspondent à la détection automatique par le système. L'analyse de cette carte montre que le système a tendance à détecter plus de potentille qu'il n'y en a réellement. Certains jalons ne sont pas non plus détectés mais globalement la détection correspond aux zones repérées manuellement. La performance pourrait être améliorée avec plus de labellisation d'images et un meilleur entraînement de l'Intelligence artificielle.

2.2.4 Détection et zonage des symptômes de mildiou avec l'intégration du capteur Carbon Bee

Le mildiou (Figure 13) est la principale maladie fongique qui affecte la vigne. La détection du mildiou peut apporter une information spatiale utile au chef de culture pour détecter un problème dans la protection : problème d'application lié au matériel, rangs oubliés, ou zone de plus forte sensibilité sur laquelle les symptômes apparaissent précocement. Malheureusement, cette information ne permet pas de réagir de manière ciblée dans les traitements car les stratégies de protection sont surtout préventives. Une fois le mildiou détecté, on peut éventuellement choisir de renforcer la protection pour éviter les repiquages sur les zones touchées. Le symptôme est facilement reconnaissable sur la feuille et la détection demande seulement de trouver la bonne orientation par rapport au plan de palissage. En effet, selon l'orientation des rangs, la prise de vue peut être perturbée par la surexposition liée au soleil. Nous avons entraîné le système avec des images de mildiou annotées et labellisées.

Sur cette carte (Figure 14), les points verts représentent la détection de mildiou le 20 juin, et les points bleus le 18 juillet. La parcelle est brumisée pour pouvoir faire des tests de produits, et il est donc normal de voir les symptômes s'étendre entre les deux dates. Ce test simple montre que le couple robot-capteur est capable de collecter de l'information bien corrélée à la réalité de terrain. La pertinence de cet usage dépend de la façon dont les viticulteurs pourraient se l'approprier.



Figure 13 : Symptômes de mildiou sur feuille le 19 juin 2019

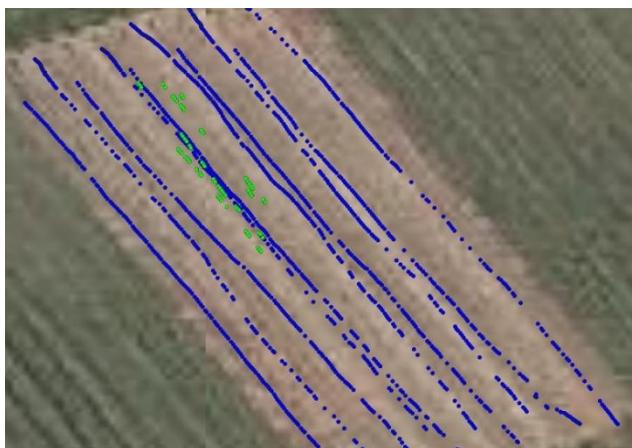


Figure 14 : Cartographie de la détection des symptômes de mildiou

Conclusion

Nos travaux ont montré l'intérêt économique du développement de nouvelles applications pour le robot, rendant cet investissement élevé plus facile à amortir. Ces nouvelles applications vont également dans le sens d'utiliser moins d'intrants ou de mieux les appliquer, dans la logique du plan Ecophyto.

Le projet que nous avons mené a permis d'identifier des solutions techniques adaptables sur le robot pour lui donner plus de polyvalence et imaginer une meilleure valorisation de tous les passages au vignoble. Le développement de ces solutions techniques et leur intégration finale sur le robot dépend uniquement de la volonté du constructeur de les proposer à ses clients.

Cependant, le transfert des solutions testées et des cas d'usage les accompagnant n'est pas simple et demande un effort de reconception important sur les matériels (tondeuse, épampreuses brosses ou cellule de pulvérisation). Les essais menés avec les capteurs ont montré la compatibilité du support « robot » avec les conditions d'acquisition requises. Les images ou signaux sont exploitables et donnent de l'information potentiellement très utile si le passage des robots remplace progressivement l'arpentage des parcelles par les humains. Si cela nous paraît pertinent aujourd'hui, le retour sur investissement est plus difficile à établir. L'adoption des robots par les vignerons n'en est qu'à ses débuts et c'est à l'usage que nous pourrions évaluer si la collecte de données de proximité avec les capteurs trouve son public !

À la suite de ces travaux, d'autres pistes d'innovation émergent, peut-être moins prioritaires car sans lien avec la réduction d'usage des produits phytosanitaires : un robot enjambeur est un bon support pour de nombreuses applications, dont des opérations basiques comme le rognage, ou la prétaille. Toutefois, la sécurité dans l'environnement de travail du robot est encore plus importante à garantir avec ces matériels coupants. La polyvalence complète du robot ne peut s'envisager qu'à la condition d'avoir une analyse permanente de l'environnement immédiat des outils par des capteurs et des caméras qui garantissent la sécurité. Si ces capteurs et caméras pouvaient également servir à collecter de l'information sur l'état du vignoble, le surcoût en serait amoindri.

Références bibliographiques

Gaviglio C., 2016. Le robot viticole : intérêt et applications. Newsletter MATEVI 5

Gaviglio C., 2019. Polyvalence des robots : l'intégration des capteurs au travers de l'exemple de Carbon Bee. Conférence FIRA. Toulouse

Gaviglio C., 2019. Synthèse pluriannuelle (3 ans) d'essai portant sur : la maîtrise de la concurrence exercée par la flore sur la vigne par la hauteur et la fréquence de tonte en système sans herbicides. 24^{ème} conférence du Columa, Orléans

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL ou DOI)