



Innovations technologiques en pulvérisation viticole : évaluation et perspectives de la technologie PWM

Maude Lewis¹, Sébastien Codis²,
Xavier Delpuech², Xavier Ribeyrolles¹,
Olivier Naud¹, Adrien Vergès²

¹ ITAP, Univ Montpellier, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France

² French Institute for Wine and Vine, INRAE Lavalette facilities, 34000 Montpellier

L'Institut Français de la Vigne et du Vin et INRAE ont travaillé en collaboration avec les sociétés OPTIMA Concept et Berthoud à la mise au point d'un pulvérisateur à commande numérique de haute précision permettant la modulation automatique du volume de bouillie pulvérisée par chacune des buses selon des cartes de consignes géoréférencées. L'article expose les caractéristiques techniques et les niveaux de performances des solutions étudiées. Il trace les perspectives de déploiement de ces technologies en viticulture.

Présentation des technologies mises en œuvre sur le prototype

Le pulvérisateur de précision conçu conjointement par OPTIMA Concept et Berthoud a été développé sur la base d'un appareil jet porté modèle WinAir face par face¹. L'appareil est équipé de 4 descentes permettant de traiter 2 rangs en face par face. Chaque descente dispose de 4 hauteurs de buses (Figure 1). En termes de qualité de pulvérisation, le Berthoud Winair face par face en 2 rangs a été qualifié par le dispositif PerformancePulvé® www.performancepulve.fr. Il obtient la classe de Performance 2, ce qui le classe parmi les meilleurs pulvérisateurs du marché en termes de quantité de dépôt sur la végétation. La fiche détaillée de l'appareil qui permet d'analyser le niveau de performance de la machine sur l'ensemble d'un cycle de culture (stade de début, milieu et pleine végétation) est accessible sur le lien suivant : <https://www.performancepulve.fr/downloads/open/fiche/148>.

Le pulvérisateur est équipé du dispositif de contrôle des buses SRP (Smart Regulation Pressure) développé par OPTIMA Concept. Ce dispositif repose sur la technologie PWM (pour « Pulse Width Modulation »)².

La technologie PWM est basée sur le principe d'un temps d'ouverture modulable des buses permettant de faire varier le débit pulvérisé. Au niveau de chaque diffuseur, un porte-buse spécial intégrant un solénoïde remplace le porte-buse classique. La buse, elle, reste classique. La fréquence de fonctionnement (ici 15 Hz) détermine le nombre de cycles d'ouverture et de fermeture de la buse par seconde. À chaque cycle, une valeur de DutyCycle (DC, en %) paramétrable permet de modifier le débit pulvérisé. Le DC correspond au pourcentage de temps durant lequel la buse est ouverte. Le DC est augmenté ou diminué automatiquement selon le débit souhaité.

Le dispositif SRP d'OPTIMA Concept intègre la fonction DPAE (débit proportionnel à l'avancement électronique) au niveau de chacune des 16 buses équipant l'appareil. Il permet de maintenir un volume/ha consigne défini au niveau de chacune des buses pour différentes vitesses d'avancement du tracteur. Le débit pulvérisé par chaque buse est piloté indépendamment au niveau de son porte-buse PWM grâce à la modification du DC. Le circuit de pulvérisation a été adapté de telle sorte que la modification des débits sur la rampe s'effectue à pression constante, quel que soit le nombre de hauteurs de buses ou de descentes ouvert, et pour une large gamme de calibres et de modèles de buses utilisés. Différentes catégories et calibres de buses ont été testées : XR80°, Teejet ; IDK90°, Lechler ; AD90°, Lechler. Avec l'utilisation de buses jusqu'au calibre ISO 04 (couleur rouge), la variation de pression dans le circuit est limitée à 0,2 bar pour l'ensemble de la plage de DC, assurant l'homogénéité de la pulvérisation.

Des courbes de calibration sont nécessaires pour réguler le volume/ha au niveau des porte-buses PWM³. Ces courbes de calibration relient, pour une pression donnée dans le circuit, la valeur de débit pulvérisé par la buse (exprimée en ml/min) à la valeur de DC (exprimée en %). Une courbe de calibration spécifique à chaque modèle de buse doit être définie (Figure 2). Les calibrations sont effectuées sur une fourchette de DC comprise entre 15 à 90 %. Au-dessus d'un DC de 90 %, le débit est constant et en-dessous de 15 %, le spectre des gouttes ne se forme plus toujours correctement selon le modèle de buses et des différences de débit entre buses sont susceptibles d'apparaître. À titre d'exemple, sur la plage de DC comprise entre 20 % et 90 % retenue comme la plage de fonctionnement de la solution SRP, le débit des buses AD90°03 varie à 4 bars entre 0,32 l/min (DC = 20 %) et 1,37 l/min (DC = 90 %), soit une plage de variation de débit pulvérisé de 1 à 4.



FIGURE 1. Prototype de pulvérisateur basé sur la technologie de contrôle des buses PWM (dispositif SRP (Smart Regulation Pressure)). Crédit Photo IFV.



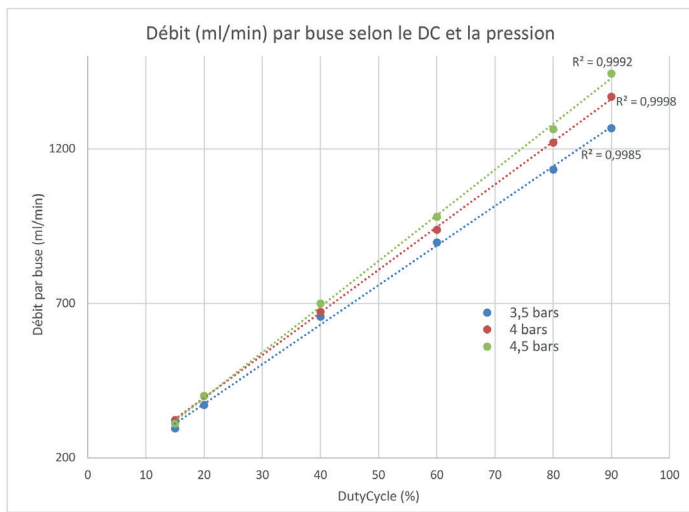


FIGURE 2. Courbes de calibration de la buse AD90° 03 à 3 pressions (3,5, 4,0 et 4,5 bars).

Jusqu'au calibre ISO 04 des buses, le débit pulvérisé varie linéairement en fonction du DC. La courbe de calibration est indépendante du nombre de hauteurs de buses ouvertes et de la descente.

Le pulvérisateur est équipé d'une console (modèle Xenius, OPTIMA Concept) permettant de lire des cartes de préconisation géoréférencées au format shapefile. Il est équipé d'un récepteur GNSS RTK permettant d'obtenir une géolocalisation au centimètre près et d'un modem 4G pour la réception des corrections (www.reseau-tertia.com). Le suivi en temps réel et l'enregistrement des paramètres d'application se font grâce à la présence d'un capteur de pression et de quatre débitmètres électromagnétiques (marque IFM) pour chaque descente de l'appareil. Un enregistrement géoréférencé des débits instantanés et de la pression à fréquence de 10 Hz permet de contrôler la précision dans l'application des volumes/ha consignés.

Analyse de la précision d'application

Afin de tester la capacité du prototype à appliquer précisément les doses consignées, plusieurs cartes de préconisation ont été soumises au système de commande du pulvérisateur. Ces cartes étaient constituées de 7 polygones, avec des consignés de volumes/hectare définies pour chacune des 16 buses. Les cartes de préconisation ont été conçues de manière à exploiter une très large plage de variation du DC en mode DPA. Lors de l'application, les paramètres de pulvérisation (débit, pression, vitesse d'avancement) ont été enregistrés et géoréférencés. La figure 3 présente un exemple d'application avec la comparaison entre le volume/ha instantané appliqué et le volume/ha consigné (en l/ha) pour une des 4 descentes sur les 7 polygones.

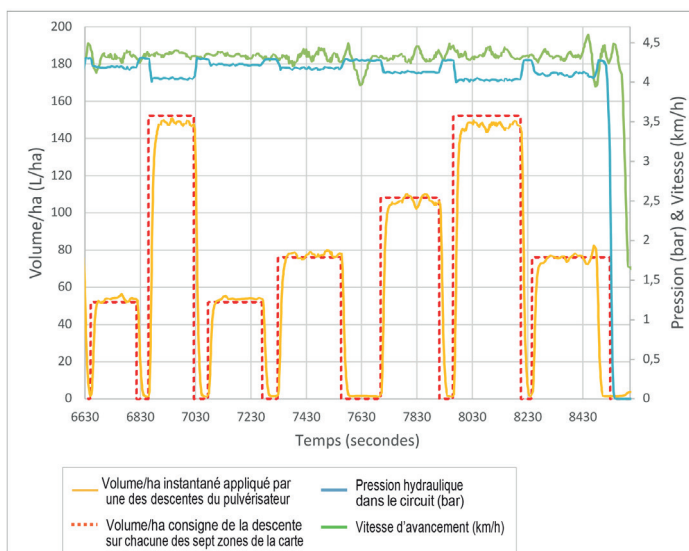


FIGURE 3. Comparaison entre le vol/ha instantané appliqué par une des descentes du pulvérisateur (trait jaune) et le vol/ha consigné (trait rouge) sur les 7 zones.

La carte de préconisation a été faite avec des variations de volume/ha consignés dans les 7 polygones allant de 1 à 3 (de 50 l/ha à 150 l/ha pour une descente, soit de 100 à 300 l/ha pour le rang entier traité).

L'analyse des fichiers d'enregistrement des valeurs de débits instantanés montre une très bonne précision dans l'application des volumes/ha consignés. Dans toutes les configurations testées - correspondant à 42 points de comparaison - l'erreur sur le volume/ha appliqué à l'échelle du rang traité est inférieure à 5,4 % (erreur maximale) avec une moyenne des valeurs absolues des erreurs voisine de 2,5 %.

Des essais complémentaires ont permis d'évaluer d'autres paramètres de performance de la machine. Concernant la réactivité du prototype, le temps nécessaire pour ouvrir, fermer la pulvérisation ou changer le volume/ha appliqué est voisin de 100 ms. Pour ce qui concerne la précision du positionnement géographique de l'application de consignés préalablement géoréférencés au sein de cartes de préconisation, des essais réalisés à 7,4 km/h ont montré que l'imprécision était inférieure dans tous les cas à 26 cm (moyenne de 23 cm sur 12 essais) et inférieure à 19 cm à 4,0 km/h (moyenne de 14 cm sur 12 essais).

Les solutions technologiques développées par OPTIMA Concept et déployées avec Berthoud sur le prototype apparaissent prometteuses et devraient se développer en cultures pérennes, compte tenu du potentiel en termes de précision, de modularité (robustesse de la qualité d'application malgré les variations de vitesse et de volume/ha appliqué) et de réactivité.

Les solutions technologiques déployées constituent une réelle avancée vers le développement d'une pulvérisation de précision qui permettra d'adapter, une fois que les règles d'ajustement auront été définies, la dose en fonction de la végétation à traiter. La société OPTIMA Concept vient de développer un nouveau dispositif baptisé AFS (Automatic Foliage Spraying) qui consiste à coupler la technologie PWM avec des capteurs ultrasons de manière à couper automatiquement le jet en présence de trous dans la végétation. Cette solution primée au SITEVI 2023 est en cours d'évaluation par l'équipe mixte de l'UMT ECOTECH (IFV-INRAE-CTIFL) de Montpellier. Les premiers essais montrent que cette solution pourrait être une alternative aux panneaux récupérateurs pour réduire les pertes d'intrants sans les inconvénients d'encombrement et de contrainte de nettoyage des panneaux. ■

Remerciements : Remerciements au domaine MasPiquet, domaine pédagogique du lycée viticole Frédéric Bazille de Montpellier (Hérault, France) support de nos activités expérimentales. Remerciements aux sociétés OPTIMA Concept et Berthoud.

1 Lewis, M., Codis, S., Ribeyrolles, R., Delpuech, X., Trinquier, E., Vergès, A., & Naud, O. (2024). Des buses à pulsation pour une pulvérisation de précision en vigne. L'innovation technologique PWM offre de réelles perspectives pour le développement de pulvérisateurs précis et efficaces en cultures pérennes, comme en témoignent les récents essais de l'UMT EcoTech (IFV-Inrae). *Phytoma* N° 773 avril 2024. pp 42-46. <https://url.me/D8wgY>

2 Salcedo, R., Zhu, H., Jeon, H., Ozkan, E., Wei, Z., & Gil, E. (2022). Characterisation of activation pressure, flowrate and spray angle for hollow-cone nozzles controlled by pulse width modulation. *Biosystems Engineering*, Volume 218, 2022, Pages 139-152, ISSN 1537-5110, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.04.002>

3 Campos, J., Román, C., Jeon, H., Zhu, H., & Ozkan, E. (2023). Current Status of Real-time Target-oriented Spray Application Research in Ohio. *16th Workshop on Spray Application and Precision Technology in Fruit Growing*. Montpellier Sept. 19-21, 2023. <https://suprofruit2023.colloque.inrae.fr/>