

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

BUSES PWM : UNE NOUVELLE VOIE DANS LA PULVERISATION DE PRECISION

B. PERRIOT ⁽¹⁾ et C. DESBOURDES⁽²⁾

⁽¹⁾ ⁽²⁾ ARVALIS Institut du végétal- Station expérimentale- FR-91720 BOIGNEVILLE

RÉSUMÉ

Les porte-buses à sélection automatique ont fait leur apparition en 2013. Un tel système, qu'il soit composé de quatre ou deux buses, maintient une qualité de pulvérisation optimale quels que soient la vitesse d'avancement ou le débit souhaité (Desbourdes C. et Perriot B., 2013) (Desbourdes C. et Perriot B., 2017). Une autre technologie récemment commercialisée a le même objectif : les buses à pulsation, aussi appelées buses PWM (*Pulse Width Modulation*, pour « modification de la largeur d'impulsion »). Le débit est modulé en modifiant la durée du cycle d'ouverture des buses. ARVALIS-Institut du végétal a testé le système Hawkeye du constructeur Raven Industries sur la station de Boigneville (91) en Octobre 2016.

L'objectif est de vérifier que le système délivre bien le volume/ha souhaité dans deux utilisations. Une première manipulation teste le système en réponse à une carte de préconisation de volume (de 50 à 200 l/ha) assistée par GPS. Une deuxième fait évoluer le pulvérisateur à différentes vitesses d'avancement (de 6km/h à 20km/h avec des pas de 2, 4, 6 ou 8 km/h), en vitesse croissante ou décroissante, à volume/ha stabilisé.

Les résultats concluent à une bonne stabilité du volume/ha appliqué quels que soient les changements de vitesse effectués ainsi qu'une réponse favorable à la carte de préconisation assistée par GPS. Dans les deux cas, des oscillations ont malgré tout été observées autour du volume cible moyen, laissant envisager plusieurs hypothèses sans qu'aucune ne soit validée à ce jour.

Mots-clés : buses à pulsation, PWM, fréquence d'impulsion, duty cycle, modulation.

ABSTRACT

PWM NOZZLES: A NEW WAY IN PRECISION SPRAYING

Automatic selection nozzle appeared in 2013. This system, composed by 2 or 4 nozzles allows to maintain an optimal spray pattern whatever the speed or the nozzle's (?) flow (Desbourdes C. et Perriot B., 2013) (Desbourdes C. et Perriot B., 2017). Another technology recently appeared with the same goal : the PWM nozzles (*Pulse Width Modulation*). The flow is modulated with the modification of the length of nozzle duty cycle. ARVALIS-Institut du vegetal tested the Hawkeye system built by Raven Industries at Boigneville (91) in October 2016.

The aim was to verify if the system can deliver the good spray volume in two ways. Firstly, we tested the system in response at a variable rate application map (from 50L.ha⁻¹ to 200L.Ha⁻¹) assisted by GPS. Secondly, the sytem was tested with different variations of speed (from 6km.h⁻¹ to 20km.h⁻¹ with lap of 2, 4, 6 or 8km.h⁻¹) at a constant spray volume.

Results clearly show a good stability of applied spray volume wathever the foraxard speed variations and a good response to the variable rate application map assisted by GPS. In both cases, oscillations are observed around the target spray volume. Theses oscillations are not explained yet but different hypothesis are possible.

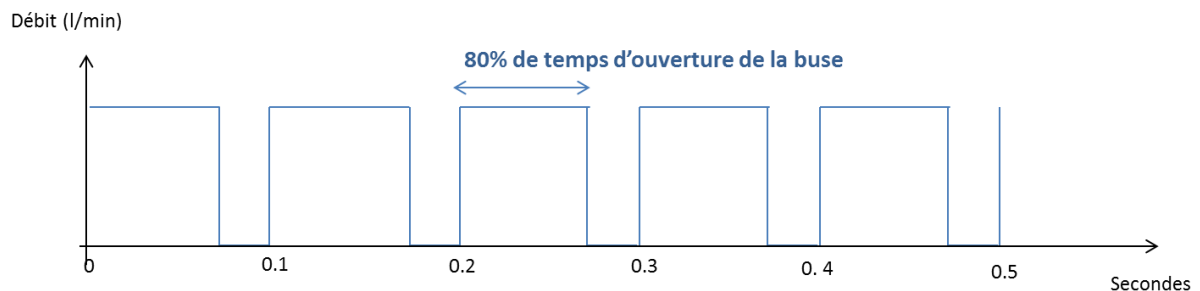
Keywords: PWM nozzles, Pulse Width Modulation, duty cycle, spray volume modulation.

INTRODUCTION

Le principe des buses à pulsation ou PWM (Pulse Width Modulation) pour « modification de la largeur d'impulsion » est basé sur un porte-buse équipé d'un solénoïde électrique. Ce solénoïde fonctionne à une fréquence stabilisée d'ouverture et de fermeture de la buse. C'est en modifiant la durée du cycle d'ouverture (en anglais, duty cycle) de la buse que le système permet de moduler le débit tout en maintenant une pression constante et une qualité de pulvérisation optimale.

Dans le cas du constructeur Raven Industries, le système fonctionne à 10 Hz : 10 ouvertures et 10 fermetures par seconde. Le solénoïde permet également de gérer la durée d'ouverture de la buse au sein de ce cycle de « On/Off ». C'est en modifiant cette durée d'ouverture que la modulation du débit se réalise (Figure 1). En pratique, l'agriculteur renseigne une taille de goutte et un volume/ha. Ensuite, le logiciel détermine lui-même une pression à la buse qui correspond à la taille de gouttes choisie. Puis, c'est en modifiant le cycle d'ouverture que le débit est ajusté.

Figure 1 : Cycle « ouverture / fermeture » d'un PWM : la durée d'ouverture de la buse définit le volume appliqué (exemple pour un temps d'ouverture de 80%). Cycle of « on/off » to the PWM : the open time of the nozzle give the applied volume.



Crédit photo : ARVALIS Institut du végétal

Légende : Un solénoïde électrique disposé sur chaque porte-buse permet de moduler le débit de la buse (essai Boigneville, 2016)

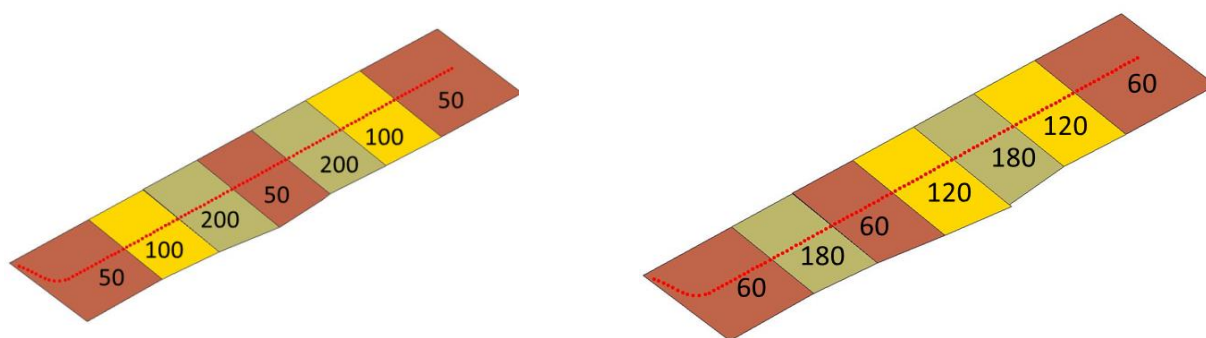
MATERIEL ET MÉTHODE

Arvalis Institut du Végétal a testé le système PWM de Raven Industries sur la station expérimentale de Boigneville (91) en octobre 2016. Il est géré par la console Viper4 de Raven Industries en précision RTK (± 2 cm) et installé sur un pulvérisateur Kuhn METRIS de 3200 litres avec une rampe de 24 mètres. Le premier objectif est de définir sa capacité à suivre une carte de préconisation de volume. Le second est de vérifier la stabilité de la dose suite à des changements de vitesse d'avancement. Trois répétitions sont faites pour chaque modalité.

MODULATION DU VOLUME APPLIQUE EN REPONSE A UNE CARTE D'APPLICATION

Deux cartes de préconisations sont testées au champ. La première passe de 50 l/ha à 100 l/ha puis à 200 l/ha soit un facteur 4 entre les deux volumes les plus extrêmes. La deuxième carte passe de 60 l/ha à 120 l/ha puis à 180 l/ha, soit un facteur 3 entre le volume minimum et le volume maximum (Figure 2).

Figure 2 : Cartes de modulation (en l/ha) testées avec l'Hawkeye. Le trait rouge représente la circulation du tracteur dans la parcelle. *Variable rate application map tested on the field. The red line represent the way of tractor in the field.*



Au champ, le tracteur évolue sur une ligne droite de 600 m de long à vitesse stabilisée de 10 km/h. Dans la cuve, un colorant alimentaire jaune, la Tartrazine (E 102) est mélangé à l'eau claire. Il est récupéré dans des boîtes de Pétri positionnées au sol tous les 5 m lors du passage du tracteur. Les boîtes sont ensuite collectées puis analysées au laboratoire.

Au laboratoire, dans chaque boîte de pétri, 10 ml d'eau est ajoutée pour remettre la tartrazine en solution. La solution colorée est analysée au spectrophotomètre. Ce matériel mesure l'absorbance de la solution. Par une relation linéaire entre l'absorbance et la concentration en colorant, la quantité de colorant reçue dans chaque boîte de Pétri est calculée. Le volume/ha appliqué en est déduit.



Crédit photo : ARVALIS Institut du végétal

Légende : La bouillie colorée est récupérée à l'aide de boîtes de Pétri disposées au sol tous les 5 mètres. Chaque boîte est géo référencée. *The colored mixture is picked up in petri dishes located every 5 meters. Each dish is precisely located by GPS.*



Crédit photo : ARVALIS Institut du végétal

Légende : Le Hawkeye de Raven Industries est installé sur un pulvérisateur Khun. Il est piloté par la console Viper4 en précision RTK. *The Hawkeye system is provided on Kuhn sprayer. It is managed by the field computer Viper 4 with RTK precision.*

STABILITE DU VOLUME EN FONCTION DE LA VITESSE D'AVANCEMENT

Dans la deuxième partie du test, le pulvérisateur évolue avec un volume/ha constant de 100 l/ha. La vitesse d'avancement varie selon différents pas de vitesses : 2, 4, 6 et 8 km/h en vitesse croissante et décroissante. La méthodologie de capture du colorant est identique à la manipulation réalisée avec la carte de modulation (Tartrazine et boîtes de Pétri).

RESULTATS

MODULATION DU VOLUME APPLIQUE EN REPONSE A UNE CARTE D'APPLICATION

Les résultats montrent que le système Hawkeye répond correctement à la première carte de modulation (50 l/ha, 100 l/ha et 200 l/ha) en modulation croissante et décroissante (Figure 3) : il y a adéquation entre le volume/ha appliqué et le volume/ha souhaité. Le volume/ha appliqué est compris dans une fourchette de $\pm 5\%$ du volume cible. Les délais de réponses sont courts : de l'ordre de 5 m soit 1,8 seconde en moyenne, quel que soit le pas d'augmentation ou de réduction du volume. Pour la deuxième carte de modulation (facteur de 3 entre les doses), les résultats sont similaires et donc satisfaisants (Figure 4).

Cependant, des fluctuations importantes autour des paliers de volume cible sont observées.

Figure 3 : Réponse (en l/ha) de l'Hawkeye à une carte d'application 50/ha-100l/ha-200l/ha en modulation croissante et décroissante, à une vitesse stabilisée. *Applied volume in response to the variable rate application map 50L.ha⁻¹- 100L.ha⁻¹-200L.ha⁻¹ at constant speed.*

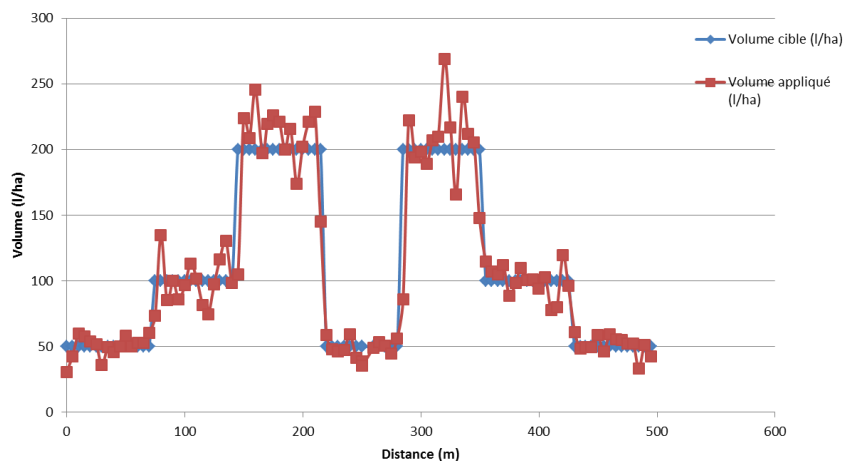
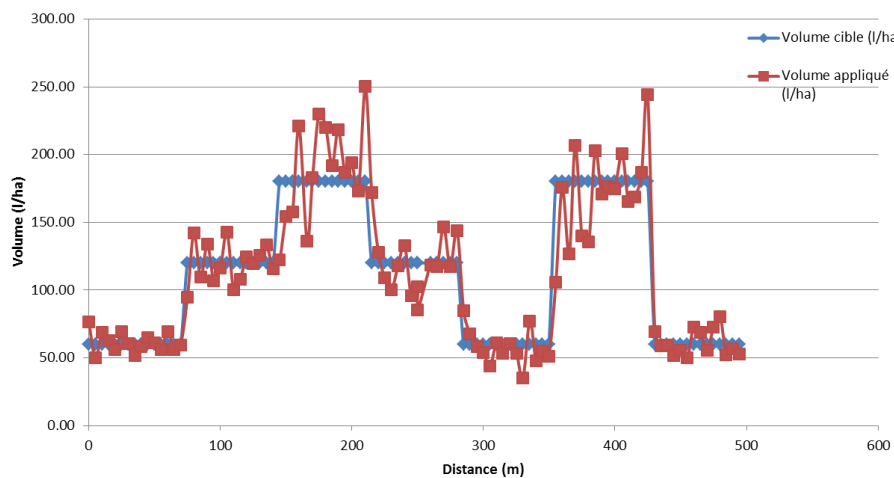


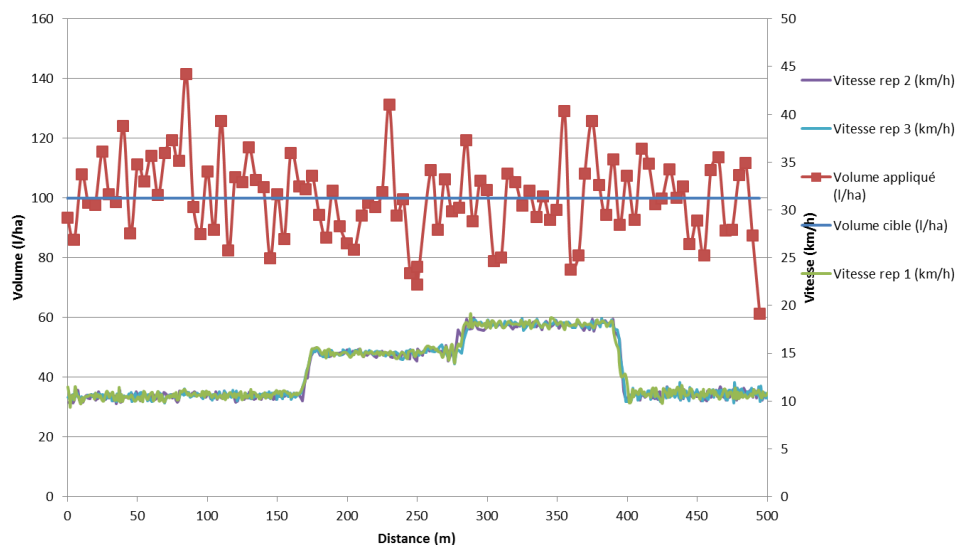
Figure 4 : Réponse (en l/ha) de l'Hawkeye à une carte d'application 60l/ha-120l/ha-180l/ha en modulation croissante et décroissante, à une vitesse stabilisée. *Applied volume in response to the variable rate application map 60L.ha⁻¹- 120L.ha⁻¹-180L.ha⁻¹ at constant speed.*



STABILITE DU VOLUME EN FONCTION DE LA VITESSE D'AVANCEMENT

La figure 5 présente le volume/ha appliqué pour une vitesse de 10km/h, 14km/h, 18km/h puis 10km/h. Le volume/ha appliqué est stable quelle que soit la vitesse d'avancement et quel que soit le pas de changement de vitesse. Le volume/ha moyen appliqué dans ce cas est de 100,3 l/ha pour une cible de 100 l/ha.

Figure 5 : Variation de vitesse : une réponse satisfaisante. Variable speed : a good job for Hawkeye.



Pour le changement de vitesse 10km/h-16km/h-10km/h-14km/h, les résultats sont similaires et le volume moyen appliqué est de 100,4l/ha. Pour la variation 10km/h-18km/h-14km/h-10km/h, le volume moyen appliqué est à nouveau de 100,3l/ha. Dans les 3 cas, le volume moyen appliqué est compris dans une fourchette de +/-5% du volume cible, ce qui est satisfaisant. On observe malgré tout une fluctuation importante du volume appliqué autour de la moyenne.

DISCUSSION

Les deux manipulations confirment que l'Hawkeye de Raven Industries permet de moduler le volume/ha ou de le maintenir constant indépendamment de la vitesse d'avancement. En revanche, les tests montrent également que le volume appliqué oscille autour de la moyenne (Figure 4, 5 et 6). Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce phénomène. La première est le fait que le test ait été réalisé en extérieur en conditions non maîtrisées de vent. La deuxième est une instabilité de la vanne de régulation. Enfin, la dernière hypothèse envisagée pourrait être le phénomène de « hachage » lié au système d'ouverture / fermeture des buses.

La technologie PWM induit une succession d'ouverture et de fermeture des buses qui pourraient provoquer des polygones non pulvérisés au sol sous la rampe. En effet, un système fonctionnant en 10 Hz avec « un duty cycle » de 80% et roulant à une vitesse de 10 km/h pourrait créer des « manques » de traitement de 5,4 cm tous les 27 cm parcourus avec le pulvérisateur. Un moyen de réduire au minimum le « hachage » est d'augmenter la fréquence de fonctionnement du système. Cependant, cela impactera directement le prix et la puissance électrique nécessaire au fonctionnement du système. Il faut néanmoins relativiser ce phénomène car les buses fonctionnent de manière alternée sur la rampe. Ainsi, quand une buse est fermée, ses deux voisines sont censées être ouvertes. Rappelons également que le « hachage » n'est qu'une projection théorique de la pulvérisation au sol. Dans les faits, la nappe de pulvérisation créée par l'avancement du tracteur nous laisse penser que ces phénomènes ne sont pas visibles au champ.

Ce phénomène de « hachage » au sol aurait dû être vérifié au préalable via l'utilisation de papier hydrosensible disposé sous quelques buses consécutives de la rampe. C'est une limite à l'expérimentation menée qu'il conviendra de remédier lors de futurs tests.

CONCLUSION

Le système Hawkeye de Raven Industries fonctionne de manière satisfaisante et permet de répondre à une carte de modulation du volume/ha de 50 à 200 l/ha et de maintenir le volume/ha constant indépendamment de la vitesse d'avancement quel que soit le pas de 2, 4, 6 ou 8 km/h entre des vitesses de 6 à 18 km/h. Les oscillations observées sur les graphiques de résultats laissent sous-entendre que des tests complémentaires seraient nécessaires. Les phénomènes de « hachage » induits par le système auraient dû être vérifiés afin d'explicitier les oscillations observées autour du volume cible. C'est une lacune de l'étude présente qui devra être corrigée pour de futurs tests.

Rappelons que ce système fonctionne en 10hz et est dépendant de la régulation du pulvérisateur. De ce fait, il est obligatoirement monté sur le pulvérisateur en association avec une pompe adéquate. Le système de pulvérisation complet du pulvérisateur existant est démonté pour être intégralement remplacé par le système de régulation du constructeur Raven Industries.

D'autres systèmes existent et tendent à se développer. Le système DynaJet du constructeur Teejet fonctionne en 20Hz et peut s'intégrer sur la régulation du pulvérisateur sans en modifier ses composants (régulation, pompe,...). Contrairement au système Raven Industries, ce procédé pourrait donc offrir moins de « hachage » grâce à sa fréquence de fonctionnement plus élevée. En revanche, il implique que la régulation du pulvérisateur soit optimale et compatible avec de telles variations de volume/ha et de vitesse d'avancement.

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout particulièrement à remercier les société Kuhn et Raven Industries pour le prêt de matériel et la sympathie des collaborateurs lors des tests.

Nous remercions également tout le personnel Arvalis pour sa collaboration et sa réactivité lors des tests sur la station de Boigneville.

BIBLIOGRAPHIE

Desbourdes C. et Perriot B., 2014. Des porte-buses qui changent la donne. Perspectives Agricoles n° 417, Décembre 2014. PP. 61-64.

Desbourdes C. et Perriot B., 2017. Les porte-buses à sélection automatique. Perspectives Agricoles n°443, Avril 2017. PP. 56-59.