

CARACTERISATION GRANULOMETRIQUE DES JETS DE PULVERISATION PAR OMBROSCOPIE A DIFFERENTES HAUTEURS DE BUSE

GRANULOMETRIC CHARACTERIZATION OF SPRAYS BY SHADOWGRAPHY AT DIFFERENT NOZZLE HEIGHTS

HASSINA HAFIDA BOUKHALFA⁽¹⁾, NICHOLAS DECOCK⁽²⁾, MOHAMED BELHAMRA⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratoire DEDSPAZA, Département des sciences agronomiques, Université Mohamed Khider Biskra

⁽²⁾ Unité d'agriculture de précision, Gembloux Agro-Bio Tech, Ulg Belgique
hassinaboukhalfa@gmail.com

RESUME

Les caractéristiques granulométriques des jets de pulvérisation de produits phytosanitaires déterminent l'efficacité des traitements et la pollution de l'environnement. L'imagerie rapide par ombroscopie présente une méthode satisfaisante pour la caractérisation de ces jets difficiles à visualiser. En particulier, le recours à des sources d'éclairage LED assure une grande modularité. La hauteur de pulvérisation influence directement la distribution car le jet s'élargit depuis l'orifice de la buse jusqu'à la cible à atteindre. Dans le présent travail nous avons utilisé l'ombroscopie et l'analyse d'images pour la caractérisation des jets d'une buse à fente RS-MM 110°/04 (Uniagroup ®) à différentes hauteurs, 10, 20, 30, 40 et 50 cm. L'objectif principal étant d'étudier la sensibilité de la répartition granulométrique du jet de pulvérisation aux variations de hauteurs en conditions dynamiques. La connaissance de la granulométrie des jets liée aux conditions techniques de matériel utilisé permet de maîtriser les combinaisons de paramètres adéquats aux différentes conditions d'application en termes de pression, de hauteur de type de buse, de formulation et de conditions environnementales. Les résultats obtenus montrent que la distance de 50 cm est la distance optimale où la distribution du jet, de la buse testée à une pression de 2 bars, est complète.

MOTS CLES: Pulvérisation agricole, hauteur de pulvérisation, ombroscopie, distribution granulométrique, traitement raisonné.

ABSTRACT

The granulometric characteristics of agricultural sprays determine the efficiency of treatments and the pollution of the environment. High speed imaging by shadowgraphy presents a satisfactory method to characterize these jets difficult for visualization. In particular, the use of LED lighting sources ensures a high degree of modularity. The spray height influences directly the distribution as the jet expands from the nozzle to the target. In this work we used shadowgraphy and image analysis to characterize the jets of an RS-MM 110 ° / 04 (Uniagroup ®) slit nozzle at different heights, 10, 20, 30 , 40 and 50 cm. The main objective is to study the sensitivity of the particle size distribution of the spray jet to changes in heights under dynamic conditions. Knowledge of the particle size of the jets in relation with the material technical conditions makes possible the control of parameters combinations suitable for different application conditions in terms of pressure, nozzle type, height, formulation and environmental conditions. The results obtained show that the distance of 50 cm is the optimal distance where the distribution, for the tested nozzle at a pressure of 2 bars is complete.

KEYWORDS: Agricultural spray, Height of spraying, shadowgraphy, drop size distribution, reasoned treatment.

1 INTRODUCTION

Les travaux de l'Université de Wageningen (Speelman et Jansen, 1974) ont montré l'effet néfaste des mouvements de buses dans le plan vertical. Les travaux de Ganzelmeier et Moser, (1977) confirment l'effet néfaste de l'augmentation de l'amplitude des vibrations verticales sur la répartition des jets. Plus récemment, De Jong, et al., (2000) a montré qu'en règle générale, le coefficient de variation de la répartition augmente avec l'amplitude du mouvement et diminue avec la hauteur. Les différences observées entre buses à fente (110°) et buses à jet conique (80°) sont très importantes : en moyenne, le coefficient de variation de la répartition pour l'ensemble des essais réalisés est double pour ces dernières.

Toutes ces confirmations méthodologiques montrent l'importance que revêt le questionnement actuelle de la recherche sur un aspect fondamentale de la problématique de la réduction de l'impact environnemental et sanitaire des produits phytosanitaires. Cependant, une telle démarche nécessite une bonne maîtrise des aspects théoriques de la sensibilité et de la répartition des jets en fonction des hauteurs de traitement en conditions dynamiques. L'objectif de cette étude vise à présenter des alternatives et de tester une méthode facile et très efficace pour caractériser la granulométrie vélocimétrie des jets de pulvérisation. Dans le présent travail nous avons utilisé la technique d'imagerie rapide par ombroscopie pour visualiser les jets de pulvérisation à différentes distances de la buse représentant les différentes hauteurs de pulvérisation.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 Présentation générale du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé dans cette phase est celui décrit dans (De Cock, 2012). Il comporte une caméra, un optique et un système d'éclairage (un panneau de LED, un contrôleur du LED et une alimentation du contrôleur) et une buse de pulvérisation située entre la caméra et la source lumineuse à hauteur réglable.

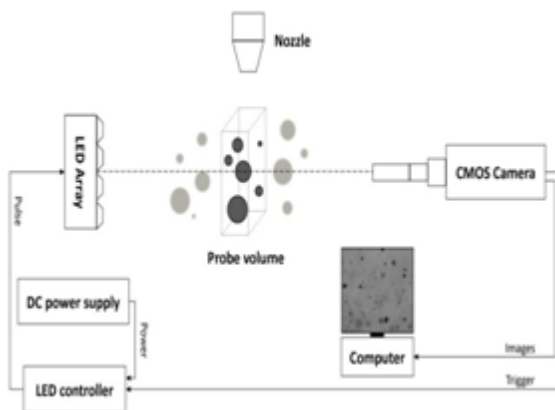


Figure 01: Schéma du dispositif d'acquisition d'images rétro-éclairées

L'alignement entre la caméra, le système d'éclairage et la buse à caractériser est assuré grâce à un cadre rigide réalisé en profilés Bosch-Rexroth ®. La caméra est placée dans un boîtier en plexiglas et le panneau de LED est fixé au cadre. La buse faisant l'objet de la mesure est fixée sur un support mobile situé entre l'éclairage et la caméra. Grâce à un système de rails coulissants, le réglage de la position de la buse est possible selon trois directions orthogonales.

La caméra utilisée est une caméra haute vitesse XS-3 « *Integrated Design Tools, Inc* » à capteurs de type CMOS. Cette caméra possède une résolution de 1280x1024 pixels. Les images sont acquises avec une profondeur de 8 bits. La fréquence d'acquisition, lorsque la zone d'acquisition est maximale, est de 625 images par seconde. Elle peut être augmentée en diminuant la zone d'acquisition. Dans le but de capturer le maximum d'information, la plus grande zone d'acquisition sera utilisée pour les mesures. La caméra dispose également d'un mode « double impulsion », dans lequel l'acquisition est réalisée par paires d'images séparées par un court laps de temps. Deux types de sorties sont disponibles, une sortie USB pour la connexion à un ordinateur et des sorties BNC utilisées pour la synchronisation avec le système d'éclairage. L'acquisition des images est réalisée avec le logiciel « Motion Studio – Image Acquisition and Processing ».

L'optique est constitué d'un objectif « Rodenstock » de 80 mm f/4 combiné à deux bagues d'allonge de 24,5 et 87,5 mm. Lors de l'acquisition d'image, le diaphragme de l'objectif est complètement ouvert, ce qui a pour conséquence de laisser passer plus de lumière vers le capteur mais en contrepartie de diminuer la profondeur de champ.

Le système d'éclairage est constitué de trois éléments :

- Un panneau composé de 24 diodes électroluminescentes
- Un contrôleur d'éclairage « *Gardasoft PP 600F* »
- Une alimentation 24V pour le contrôleur

Le panneau est composé de 24 LED blanc « Luxeon® III Star » de 3 Watts chacune. Chaque diode est munie d'optiques « Carclo » à faisceau circulaire étroit avec une divergence de 10°. Le panneau peut supporter un courant de 2.8 Ampères en continu et de courtes impulsions de 4 Ampères. Il est alimenté à l'aide d'un contrôleur « *Gardasoft PP 600F* ». Ce contrôleur possède un mode d'alimentation continu et un mode d'alimentation par impulsion. La durée minimale de l'impulsion en mode pulsé est de 5µs avec un courant de maximal de 10 Ampères.

Le contrôleur possède deux canaux comportant chacun une sortie de courant et une entrée de synchronisation. Il est directement relié avec la caméra afin de synchroniser la prise d'image avec l'éclairage de la scène. Son alimentation est assurée par une alimentation 24 Volts fabriquée à l'unité d'agriculture de précision Gembloux Agro-Bio Tech, Ulg

Belgique.

2.2 Méthode d'acquisition d'images

Lors de l'acquisition d'objets en mouvement, le temps d'exposition revêt une importance primordiale car il doit être suffisamment court pour figer la goutte sur l'image tout en fournissant suffisamment de lumière pour fournir un contraste suffisant à l'image. Une image présentant des objets nets avec un faible contraste entre l'arrière-plan et les gouttes est représentative d'un temps d'exposition trop court. Une image acquise suite à un temps d'exposition plus élevé présente un bon contraste mais des objets flous. Le temps d'exposition intermédiaire présente une netteté et un contraste satisfaisant. Le temps d'exposition utilisé est de 7 μ s.

Dans la configuration d'acquisition d'images en double impulsion, l'obturateur de la caméra s'ouvre deux fois en un laps de temps très court. Cependant, lors de l'acquisition de la 2^{ème} image, le temps d'ouverture de l'obturateur ne peut pas être paramétré. Le temps d'exposition est donc contrôlé par la durée de l'impulsion du système d'éclairage, le panneau de LED reste allumé pendant la même durée pour les acquisitions. Malgré ce réglage la deuxième image présente un contraste moins important que la première.

2.3 Calibration dimensionnelle

La calibration dimensionnelle a pour objectif de définir la taille d'un pixel. Cette relation a été établie à l'aide d'une mire « USAF 1951 ». La mire se compose de six «groupes» en trois couches de motifs. Les plus grands groupes formant la première couche, sont situés sur les côtés extérieurs. Les autres groupes répètent la même disposition, mais sont d'autant plus petit que l'on se rapproche du centre. Chaque groupe se compose de six éléments, numérotés de 1 à 6. Chaque élément comporte 3 barres verticales et 3 barres horizontales.

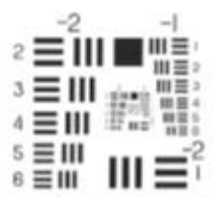


Figure 02 : Test USAF 1951

La distance réelle entre deux barres voisines pour l'élément « Ele » appartenant au groupe «Grp» est déterminée à l'aide de l'équation ci-dessous:

$$Distance\ réelle = \frac{1}{2^{Grp + (Ele - 1)/6}} [mm]$$

La taille d'un pixel est ensuite obtenue par règle de trois.

Afin de recalculer facilement ce paramètre, un script Matlab effectuant ces opérations a été créé.

Pour la caméra et le système optique utilisé, un pixel à une valeur légèrement inférieure à 10 μ m. La taille exacte selon le niveau de zoom de l'objectif utilisé lors de l'acquisition est présentée sur la figure 2.

2.4 Traitement de l'arrière-plan

En règle générale, l'arrière-plan lumineux présente des hétérogénéités liées aux sources lumineuses et à l'arrangement optique. Celles-ci peuvent être traitées en soustrayant une image recomposée de l'arrière-plan. Cet arrière-plan est constitué grâce à un filtre de rang à partir d'un ensemble de 50 images. L'arrière-plan est égal au 80^{ème} percentile d'intensité lumineuse pris pour chaque pixel. L'utilisation d'un filtre de rang permet de s'affranchir de la présence ponctuelle d'objet sur l'image. Lorsque l'arrière-plan est soustrait de l'image originale, le contraste de l'image est ajusté de telle manière à ce qu'il y ait minimum 1% de pixels saturés (fonction « Imadjust » de Matlab).

2.5 Caractérisation des gouttes

La détection des gouttes présentes sur l'image est réalisée en recherchant les changements brusques d'intensité lumineuse. Ceux-ci correspondent généralement à la limite entre une goutte et l'arrière-plan. L'intensité de ce contraste varie en fonction de la taille, de la focalisation de la goutte ainsi que de la présence d'autres ombres d'objets dans le même axe. La détection précise des contours des gouttes nécessite de tenir compte du contexte local (taille et degré de focalisation de la goutte, luminosité de l'arrière fond). A cette fin l'analyse d'image est décomposée en deux phases. La première phase est globale et a pour objectif de localiser et estimer grossièrement la taille des gouttes présentes sur l'image. Chaque goutte est ensuite isolée dans une sous-image. La seconde étape se déroule au niveau local, la taille de la goutte présente dans chaque sous-image est déterminée en tenant compte du contexte de la sous image.

2.6 Essais réalisés

Une buse à fente RS-MM 110°/04 (Uniagroup ®) est utilisée pour les essais de mesure de granulométrie. Elle est orientée de manière à ce que le jet soit perpendiculaire à l'axe optique afin de réduire l'obstruction du jet. Les mesures sont réalisées à cinq hauteurs différentes de la sortie de la buse, 10, 20, 30, 40 et 50cm, avec une pression de 2bars. Trois pulvérisations d'eau distillée sont réalisées pour chaque hauteur.

L'alimentation en eau des buses provient d'un réservoir de type Cornelius keg. Il s'agit d'un récipient métallique qui possède une entrée par laquelle on introduit l'air venant

d'un compresseur et une sortie par laquelle sort l'eau pressurisée vers la buse.

Le compresseur d'air utilisé est un compresseur Dynamair de 25 L. Il permet de fournir, dans le réservoir, de l'eau aux pressions désirées.

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats des essais sont présentés sur le tableau 1. Le Dv90 n'est pas un indicateur fiable car il est fortement influencé par les plus grandes classes granulométriques (>350 μm) pour lesquelles le nombre de gouttes détectées par essai est très faible (<10) ce qui induit une incertitude importante sur ce paramètre.

Tableau 01: Diamètres en volume et diamètre médian en nombre mesurés aux différentes hauteurs

H [cm]	DV10 [μm]	DV50 [μm]	D V 9 0 [μm]	D M N [μm]	RSF	N [gtts]
5 0	103	2 0 7	362	9 9	1,25	1 7 3 7
4 0	93	1 8 9	347	9 0	1,34	2 5 0 6
3 0	95	2 2 1	377	8 2	1,28	2 0 2 0
2 0	108	2 2 5	360	7 9	1,12	1 8 9 1
1 0	133	2 4 1	382	133	1,03	2 3 8 6

Le diamètre en volume, Dv 10 Dv 50 Dv 90 est le diamètre en dessous duquel se situe respectivement 10, 50 ou 90 % du volume du jet. Le Dv 50 est aussi appelé diamètre médian en volume (DMV).

Le diamètre médian en nombre (DMN), diamètre pour lequel 50% des gouttes ont un diamètre inférieur et 50% des gouttes ont un diamètre supérieur.

La figure 3 ci-dessous présente l'évolution de la vitesse en fonction du diamètre à différentes hauteurs de mesure. A proximité de la sortie de la buse, la vitesse est approximativement constante pour chaque classe granulométrique. Lorsque la hauteur de mesure augmente, la vitesse des particules diminue d'autant plus qu'elles sont de petites tailles.

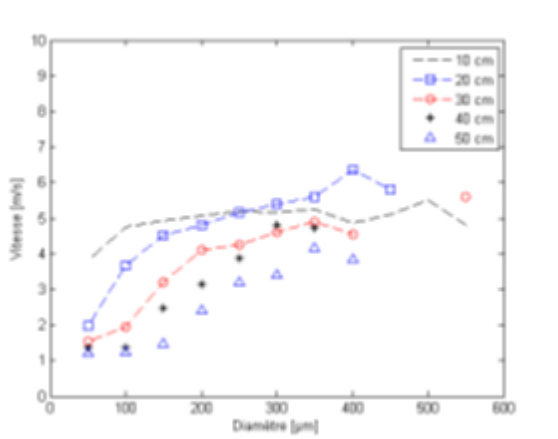


Figure 03 : Vitesse en fonction du diamètre à différentes hauteurs

de mesure à une pression de 2 bars

L'étude des graphiques de la répartition des volumes en fonction des diamètres montre que les gouttes formant les jets à la distance de 10 cm (figure 4), sont majoritairement localisées entre 150 et 250 μm avec un maximum à 200μm. Cette gamme de diamètres représente des petites gouttes sujettes à la dérive et à l'évaporation. Ceci peut être expliqué par le fait que les jets issus des buses à fente sont composés de petites gouttelettes au centre et de plus grosses gouttelettes à leur périphérie. Sur le même graphique on note aussi la présence de très grosses gouttes dont les diamètres sont de 450 à 550μm. cela peut bien être expliqué par le fait que la veine liquide n'est pas totalement rompue à cette distance de la buse. A 10 cm de la buse les gouttelettes sont encor au début de leur formation. Ce résultat est similaire aux résultats obtenus par l'ensemble des chercheurs cités en introduction.

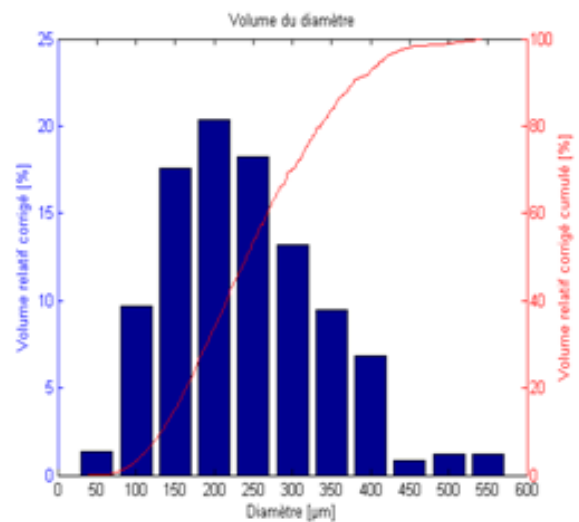


Figure 04: Granulométrie à la pression de 2 bars mesurée à une hauteur de 10 cm

Les diamètres des gouttelettes formant les jets à la distance de 20 cm (figure 5), sont étalés entre 100 et 350 μm avec un maximum à 150μm. Le diamètre qui représente le plus grand nombre de gouttes est plus petit que celui enregistré pour la distance de 10 cm. Ainsi que le nombre de gouttes de diamètres de 400 et 450 μm est minoritaire. Ceci indique que les gouttelettes formées à la distance de 20 cm sont plus distinguées et plus petites qu'à la distance de 10 cm et donc la rupture de la veine fluide est complète.

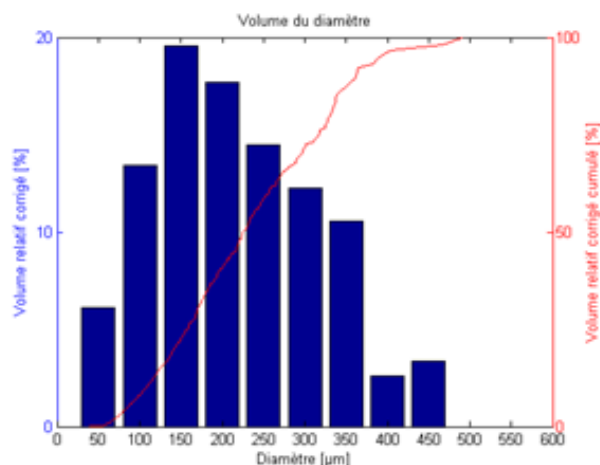


Figure 05 : Granulométrie à la pression de 2 bars mesurée à une hauteur de 20 cm

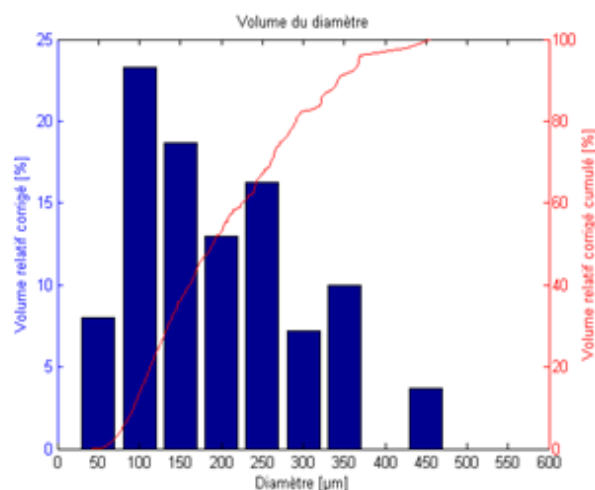


Figure 07: Granulométrie à la pression de 2 bars mesurée à une hauteur de 40 cm

Les diamètres des gouttelettes formant les jets à la distance de 30 cm (figure 6), sont étalés sur la totalité de la gamme des diamètres. A cette distance (30 cm), le jet est formé d'une distribution équilibrée de tout les diamètres de gouttes de 50 à 400µm. le jet est encor en brassage engendré par les mouvements au sein du jet suite aux frottements avec l'air qui l'entoure en interaction avec la vitesse et l'accélération des gouttes.

A la distance de 50 cm, la distribution du jet est complète. Le plus grand nombre de gouttes formant le jet ont un diamètre de 100µm.

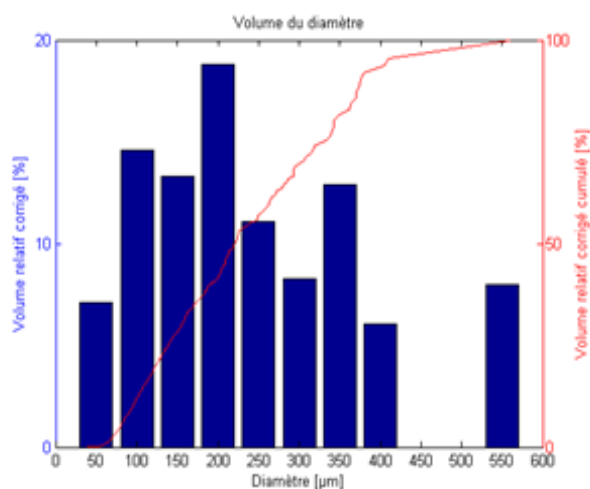


Figure 06: Granulométrie à la pression de 2 bars mesurée à une hauteur de 30 cm

A la distance de 40 cm, la distribution du jet commence à prendre forme et les diamètres des gouttelettes se concentrent entre 100 et 350 µm.

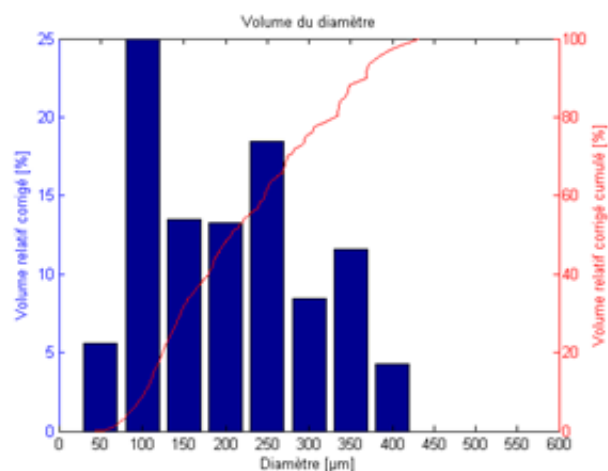


Figure 08: Granulométrie à la pression de 2 bars mesurée à une hauteur de 50 cm

Selon Lebeau (2003), la hauteur de pulvérisation influence directement la distribution car le jet s'élargit depuis l'orifice de la buse au fur et à mesure que la distance parcourue par les gouttelettes augmente.

Nation (1976) avait étudié la répartition engendrée à différentes hauteurs par des buses à fente et à turbulence, présentant des distributions variées (triangulaire, rectangulaire, creuse) et des angles au sommet de 80°, a été simulée par voie numérique et mesurée sur banc de répartition. Ces travaux montrent la présence d'une hauteur de pulvérisation optimale à 0,545 m pour un espacement entre buses voisines de 0,457 m. Les courbes théoriques et expérimentales obtenues indiquent une très nette décroissance du coefficient de variation depuis une hauteur

nulle jusqu' à la hauteur optimale suivie d'une croissance moins sensible lorsque la hauteur dépasse l'optimum. Sur le plan quantitatif, Nation (1976), observe par contre, qu'en règle générale, les courbes théoriques prédisent une meilleure performance que celle observée en pratique. Il conclut de la sensibilité du coefficient de variation à la hauteur que la pulvérisation doit être effectuée à une hauteur moyenne légèrement supérieure à la hauteur théorique optimale.

Azimi et al. (1985) testent des buses à fente dont l'angle de jet est de 80°. Ils préconisent de diminuer la distance entre buses et d'augmenter la hauteur pour favoriser une répartition uniforme car ils n'observent pas la présence d'un optimum local qui minimise le coefficient de variation. Les études de Leunda et al. (1990) corroborent ces résultats. Ces auteurs étudient différentes buses à fente et montrent que le coefficient de variation de la répartition mesuré sur banc de répartition diminue dans la majorité des cas avec l'augmentation de hauteur de pulvérisation en tendant vers un minimum. Wang et al. (1995) s'intéressent à 5 modèles de buses à fente présentant un angle de jet de 110° et débitant à trois hauteurs (305, 381 et 457 mm). Ils ont observé une forte influence de la hauteur sur l'uniformité. La meilleure uniformité correspond à la hauteur intermédiaire, ce qui suggère l'existence d'une hauteur optimale qui minimise les hétérogénéités.

Des expérimentations visant à étudier la sensibilité de la répartition aux variations de hauteurs ont également été réalisées en conditions dynamiques. Les travaux de l'Université de Wageningen (Speelman et Jansen, 1974) ont montré l'effet néfaste des mouvements de buses dans le plan vertical ainsi que la moindre sensibilité aux mouvements verticaux des buses à fente de 110° par rapport aux buses à jet conique creux. Les travaux de l'Université d'Hohenheim (Ganzelmeier et Moser, 1977) confirment l'effet néfaste de l'augmentation de l'amplitude des vibrations verticales sur la répartition. Plus récemment, l'équipe de l'IMAG (Instituut voor Milieu- en Agritechniek German) (De Jong, et al., 2000) a testé l'effet de mouvements verticaux ayant une fréquence de 1 Hz et une amplitude de 0, 10 et 20 cm pour quatre hauteurs moyennes différentes (30, 50, 70, 90 cm) et une vitesse d'avancement de 1m/s. Ils mettent en évidence qu'en règle générale le coefficient de variation de la répartition augmente avec l'amplitude du mouvement et diminue avec la hauteur. Les différences observées entre buses à fente (110°) et buses à jet conique (80°) sont très importantes : en moyenne, le coefficient de variation de la répartition pour l'ensemble des essais réalisés est double pour ces dernières.

Les résultats enregistrés sont similaires à ceux trouvés par les chercheurs précités. La hauteur de pulvérisation optimale à la pression de 2 bars pour la buse testée dans le présent travail est de 50 cm. Cependant les méthodes utilisées par l'ensemble de ces chercheurs sont différentes. Nous confirmons que la méthode d'imagerie rapide par ombroscopie constitue l'une des plus importantes à exploiter. Elle présente une fiabilité certaine, une flexibilité adéquate et une reproductibilité facile.

4 CONCLUSION

La concentration des fines gouttelettes au centre de la distribution de la buse à fente semble être à l'origine de modifications complexes dans la forme de la distribution induites par la vitesse.

D'un point de vue pratique, la méthode d'imagerie rapide constitue un outil utile pour les mesures de granulométrie vélocimétrie des jets de pulvérisation sans avoir recours à la manipulation directe de produits chimiques. Il est intéressant de l'adopter pour des travaux de recherche sur l'efficacité et l'efficacité biologique des produits phytopharmaceutiques à usage agricole. Ceci permettra de quantifier exactement les produits selon les conditions d'usage dans le but de limiter les pertes de ces produits qui constituent une nuisance assurée à l'environnement et à la santé publique.

L'importance de la caractérisation des jets agricoles et l'absence de techniques de références met en évidence la pertinence du développement d'une technique de caractérisation de jets agricoles via l'imagerie par ombroscopie.

La hauteur de mesure a un effet sur la vitesse dans le jet, lorsque la mesure se situe à proximité de la buse, il y a peu de différence de vitesse entre les différentes classes granulométriques. Lorsque la hauteur de mesure augmente, la vitesse des particules diminue d'autant plus qu'elles sont de petites tailles.

REFERENCES

- [1] Azimi A. H., Carpenter T. G., Reichard D. L. (1985), Nozzle Spray Distribution for Pesticide Application. Transactions of the ASAE. 28(5), 1410-1414.
- [2] Boukhalfa H.H., Massinon M., Belhamra M., Lebeau F. (2014), Contribution of spray droplet pinning fragmentation to canopy retention. Crop Protection, 56, 91-97.
- [3] De Cock N. (2012), Caractérisation des sprays agricoles via imagerie par ombroscopie. TFE, Ulg. 43 p.
- [4] De Jong E., Van de Zande J. C., Stallinga H. (2000), The Effects of Vertical and Horizontal Boom Movements on the Uniformity of Spray Distribution. Ag Eng 2000 paper 00-PM-015-Warwick, Royaume-uni, pp 8.
- [5] Ganzelmeier H., Moser E. (1977), Einfluss des Auslegerbewegungen von Feldspritzgeräten auf die Verteilgenauigkeit der Spritzflüssigkeit. Grundlagen der landtechnik, 27(3), 65 -72.
- [6] Leunda P., Debouche C., Caussin R. (1990), Predicting the Transverse Distribution under an Agricultural Spray Boom. Crop Protection, 9, 111-114.
- [7] Massinon M., Lebeau F. (2012), Experimental method for the assessment of agricultural spray retention based on high-speed imaging of drop impact on a synthetic superhydrophobic surface. Biosyst. Eng., 112 (1), 56-64.

- [8] Massinon M, Boukhalfa H, Lebeau F. 2014. The effect of surface orientation on spray retention. *Precision Agriculture*15:241–254.
- [9] Nation H. J. (1976), Spray Nozzle Performance and Effects of Boom Height on Distribution. NIAE Departmental Note DN/S/77/1925, pp. 27.
- [10] Speelman L., Jansen J. W. (1974), The effect of Spray-boom Movement on the Liquid Distribution of Field Crop Sprayers. *J. Agric. Res.*, 19, 117- 129.
- [11] Wang L., Zhang N., Slocombe J. W., Thierstein G. E., Kuhlman D. K. (1995), Experimental Analysis of Spray Distribution Pattern Uniformity for Agricultural Nozzles. *Applied Engineering in Agriculture*, 11(1), 51 – 55.