

**ETUDE PAR IMAGERIE NUMERIQUE ET GRANULOMETRIE LASER DE  
L'INFLUENCE DE HUIT ADJUVANTS SUR LA FORMATION DU JET DE  
PULVERISATION POUR TROIS TYPES DE BUSES.**

**C. STAINIER<sup>1</sup>, F.LEBEAU<sup>1</sup>, S.STRAET<sup>2</sup>, V. PHALEG<sup>3</sup>, M-F. DESTAIN<sup>1</sup>, B.  
SCHIFFERS.<sup>3</sup>**

Faculté universitaire des Sciences agronomiques, Passage des Déportés, 2, B-5030 Gembloux, Belgique

1/ Unité de Mécanique et Construction, 2/ Unité de Statistique et Informatique, 3/ Unité de Chimie analytique et  
Phytopharmacie

La veine fluide a été caractérisée en fonction de l'adjuvant par l'intermédiaire d'images numériques du jet. Le spectre des gouttes a été mesuré à l'aide d'un granulomètre laser Malvern. La tension de surface dynamique joue un rôle prépondérant dans la formation du jet. Les bouilles contenant les adjuvants Li-700, Silwet L-77, Flofix et Actirob ont une tension de surface dynamique supérieure à celles contenant les adjuvants Tensiofix D03, Trend 90, Frigate et Break-thru S240. Par rapport à l'eau et quel que soit le type de buse testé, le premier groupe diminue la longueur de la veine fluide avant rupture, celle-ci se produisant par perforation. Dans le second groupe, la longueur de la veine fluide augmente légèrement avant une désintégration par oscillation. L'augmentation de la longueur de la veine fluide s'accompagne d'une diminution du DVM.

Mots clés : tension de surface, veine fluide, émulsion, solution, désintégration.

**STUDY BY IMAGE ANALYSIS AND LASER-BASED DROPLET SIZE  
DISTRIBUTION MEASUREMENT OF THE INFLUENCE OF EIGHT  
ADJUVANTS ON THE SPRAY FORMATION FOR THREE  
AGRICULTURAL SPRAY NOZZLES**

The liquid sheet characteristics as a function of the adjuvant were measured using digital images. The droplet size distribution was measured using a Malvern particle size analyser. It appears that the dynamical surface tension plays a critical role in the spray formation. Spray formulation containing Li-700, Silwet L-77, Flofix and Actirob are characterised by a lower dynamical surface tension than those containing Tensiofix D03, Trend 90, Frigate and Break-thru S240. For the three agricultural spray nozzles tested and in comparison with pure water, the first group shortened the length of the liquid sheet before a perforation break-up mode when the second group lengthened it slightly before a wave disintegration break-up mode. The lengthening of the liquid sheet, is followed by a diminution of the VMD.

Key words : surface tension, liquid sheet, solution, emulsion, disintegration

## INTRODUCTION

Lors de la pulvérisation à jet projeté, la granulométrie des gouttelettes et leur cinématique est influencée par des paramètres mécaniques (buse, pression,...) et par les propriétés physico-chimiques des bouillies. Cette étude analyse les interactions existant entre 3 types de buses (à fente, conique et anti-dérive) et huit adjuvants différents.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Trois types de buses sont utilisés : une buse à fente LU 120-02 (Lechler), une buse conique TXB8002VK (Teejet) et une buse anti-dérive ID 120-02 (Lechler) à injection d'air. Ces buses sont utilisées à une pression de 3 bars et ont, dans ces conditions, un débit de 0,78 l/min

Huit adjuvants, de nature chimique différente, ont été sélectionnés et sont utilisés aux concentrations recommandées par le fabricant (Tableau I). Les quatre premiers adjuvants (Tensiofix D03, Trend 90, Frigate et Break-thru S240) hydro-solubles seront repris sous le terme de « solution », les quatre derniers (Li-700, Silwet L-77, Flofix et Actirob) seront appelés « émulsion ». Lorsque le type d'eau utilisé n'est pas explicitement spécifié dans le texte, les adjuvants ont été mélangés tant avec de l'eau dure que de l'eau douce mais les mesures réalisées n'ont pas présenté de différences significatives.

Tableau I – Types d'adjuvants utilisés lors des essais  
( Adjuvants used in experiments)

Nom commercial	Fournisseur	Description	Concentration
Tensiofix D03	Omnichem	95 % de surfactants non ioniques	0,20 % masse
Trend 90	Du pont de Nemours	900 g/l d'alcool isodécyl éthyloxy	0,10 % masse
Frigate	ISK Biosciences Europe sa	800 g/l d'amines grasses éthyloxyées	0,50 % masse
Break-Thru S 240	Goldschmidt	Trisiloxane	0,15 % masse
Li-700	Agridyne	350 g/l de lécithines de soja et 100 g/l d'alkylphényl hydroxypolyoxyéthylène	0,50 % masse
Silwet L-77	Agridyne	Heptaméthyltrisiloxane	0,10 % masse
Flofix	Bayer Crop Science	744 g/l d'huile paraffinique	0,40 % masse
Actirob B	Novance	812 g/l d'huile de colza estérifiée	0,40 % masse

La masse volumique des mélanges a été mesurée à 20 °C à l'aide d'un densitomètre METTLER-TOLEDO DA-100 M.

La viscosité a été mesurée, à 10, 20 et 25 °C, à l'aide d'un viscosimètre BROOKFIELD DV-II+, muni d'un adaptateur spécialement destiné à la mesure de très faibles viscosités.

La tension de surface dynamique a été mesurée à 20 °C, en utilisant de l'eau douce, à l'aide d'un tensiomètre LAUDA Bubble (Pressure Tensiometer MPTI).

La tension de surface statique et la concentration micellaire critique (CMC) ont été mesurées à 20°C par l'intermédiaire d'un tensiomètre de Wilhelm de type TENSIMAT N3 (prolabo).

L'étude de la veine fluide a nécessité le développement d'un dispositif optique particulier. Il consiste à acquérir un fichier vidéo à l'aide d'une caméra numérique munie d'un filtre polarisant couplée à un stroboscope situé à contre jour. La mesure de la longueur de la veine fluide et la caractérisation de son mode de rupture sont réalisées sur base de ces images.

Le spectre des gouttes est caractérisé à l'aide d'un granulomètre laser MANUAL MALVERN MASTERSIZER S. La gamme de mesure est comprise entre 0,05  $\mu\text{m}$  et 3,5 mm. Le laser étant fixe, les buses sont déplacées latéralement tous les 3 cm, pour réaliser 6 mesures au travers du jet de pulvérisation à une hauteur de 15 cm. Le programme Atomisah (Spanoghe, R.U.G.) permet d'extraire le diamètre volumique médian (DVM) et le pourcentage de gouttes le plus susceptible d'être soumis à la dérive (diamètre < 100  $\mu\text{m}$ ).

Un banc de répartition répondant à la norme ISO/5682 a été utilisé pour analyser les effets de l'interaction buses – adjuvants sur la distribution transversale des buses à 50 cm de hauteur. Ce banc, constitué de 32 gouttières de 50 mm de large et 1500 mm de long, mesure de manière automatisée la quantité de bouillie recueillie dans les éprouvettes grâce à une série de jauges d'extensiométrie.

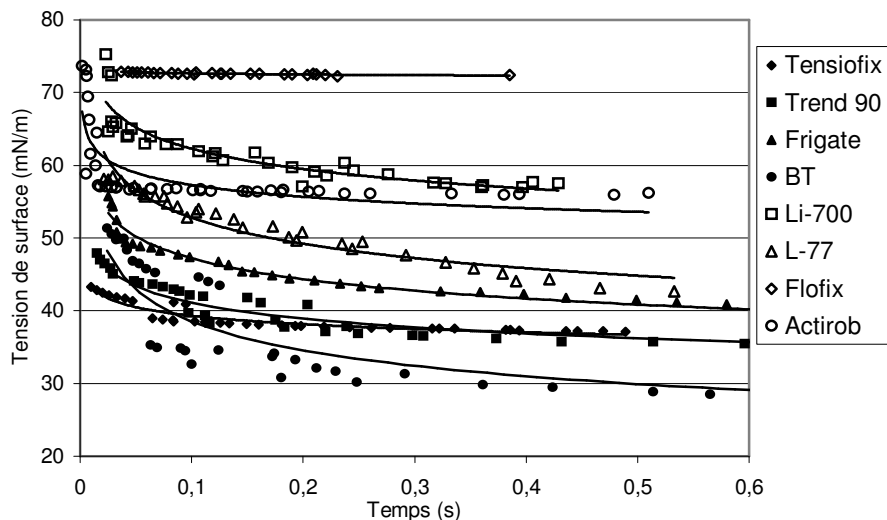
Pour évaluer l'effet du mouvement des buses sur la répartition transversale, un banc de répartition dynamique est utilisé. Il comporte un tronçon de rampe se déplaçant à vitesse variable à 50 cm au-dessus de collecteurs (dans notre cas, des papiers hydro-sensibles de 76 x 26 mm). Le mouvement de translation est contrôlé via un régulateur électronique et un servomoteur. Pour ces essais, la vitesse a été fixée à 2 m/s. L'alimentation en bouillie s'effectue à l'aide d'une pompe centrifuge. Les papiers sensibles sont numérisés à une résolution de 800 ppp. à l'aide d'un scanner et font l'objet d'une analyse d'images pour obtenir une mesure du pourcentage de couverture.

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

La masse volumique des différents mélanges ne présente pas de différence significative, quelle que soit la concentration. Ceci est dû à la dilution importante des adjuvants. Au seuil de détection utilisé, aucune différence significative de viscosité n'est apparue entre les différents mélanges. La tension de surface statique ne permet pas de différencier les groupements d'adjuvants selon le type de mélange obtenu. Par contre la tension de surface dynamique (TSD) mesurée sur les 0,6 premières secondes (Figure 1) se révèle un paramètre important permettant de

différencier ces mélanges. Tous les mélanges montrent une TSD inférieure à celle de l'eau (72 mN/m). Les adjuvants formant une solution ont des valeurs de TSD plus faibles que ceux formant une émulsion. La cinétique des solutions semble augmenter la vitesse de décroissance de la TSD.

Figure 1 - Mesure de la tension de surface en fonction du temps pour les huit adjuvants  
(Measurement of the dynamic surface tension for 8 adjuvants)

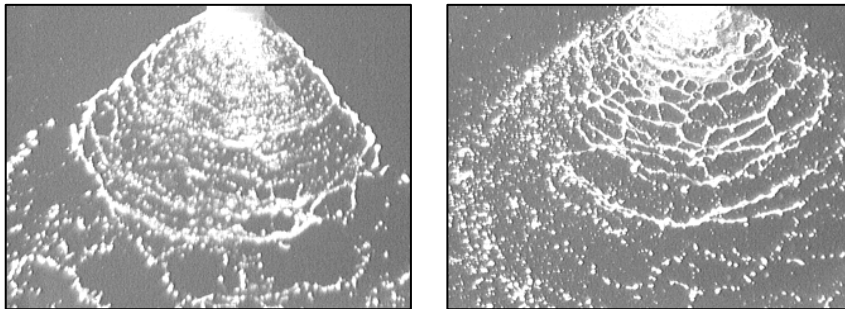


Selon Butler Ellis (2002), la valeur de la TSD à considérer doit être celle obtenue durant le temps de formation du jet ( $\approx 5$  ms). Le matériel utilisé ne permet pas d'effectuer des mesures sur des laps de temps aussi courts. Une solution proposée par Butler Ellis (2001) est d'extrapoler les valeurs prises entre 50 et 500 ms pour estimer les valeurs à utiliser. Une autre solution, basée sur l'examen de la pente de la courbe à l'origine (0 – 0,06 s), qui indique la vitesse de variation de la tension de surface, mériterait d'être analysée plus en détail.

La mesure de la concentration micellaire critique (CMC) a montré que la concentration recommandée pour tous les adjuvants est supérieure à la CMC. Ce qui signifie que la tension de surface statique restera insensible à toute augmentation de la concentration de l'adjuvant. Il n'en est pas de même pour la tension de surface dynamique. Des mesures effectuées à 0,5 et 2 fois la concentration recommandée montrent qu'une augmentation de la concentration provoque un abaissement des courbes de TSD dans les 0,6 premières secondes. Dans certains cas, une diminution de cette concentration (de l'ordre de 10 fois) ne provoquerait pas de changement de la tension de surface statique, ce qui pourrait inciter à diminuer les doses d'adjuvants. Cependant, il conviendrait de mesurer l'effet de cette diminution à la fois sur la tension de surface dynamique et sur l'efficacité biologique de la matière active lié à l'adjuvant.

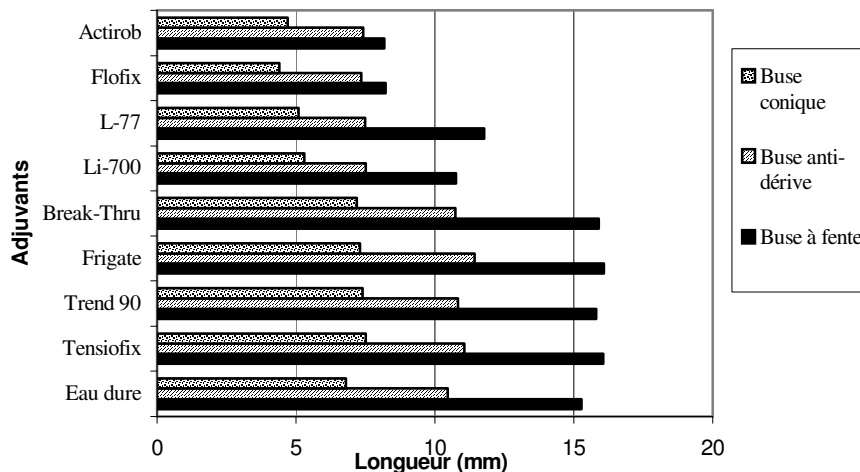
Selon Buttler Ellis et al.(1997), la rupture de la veine fluide peut se produire de trois manières différentes : par désintégration des bords ('rim disintegration'), par perforation et par oscillation ('wavy sheet disintegration'). Les images du jet de pulvérisation prises à la sortie des buses montrent que dans notre cas seuls les deux derniers types de rupture sont présents (Figure 2).

Figure 2 - Mode de rupture de la veine liquide pour une buse anti-dérive.  
Gauche : oscillation (eau pure) - Droite : perforation ( Li-700)  
(liquid sheet break up observed with an anti-drift nozzle.  
Left : oscillation (pure water) - Right : perforation (Li-700))



Les modes de rupture de la veine fluide sont indépendants du type de buse (il faut toutefois noter que les images provenant de la buse conique sont peu nettes, du fait de l'épaisseur du jet). Les émulsions provoquent un mode de rupture par perforation. La longueur de la veine fluide avant rupture est plus petite que celle de l'eau pure (Figure 3).

Figure 3 - Effet des adjuvants sur la longueur de la veine liquide avant rupture  
(Effect of different adjuvants on the length of the liquid sheet)

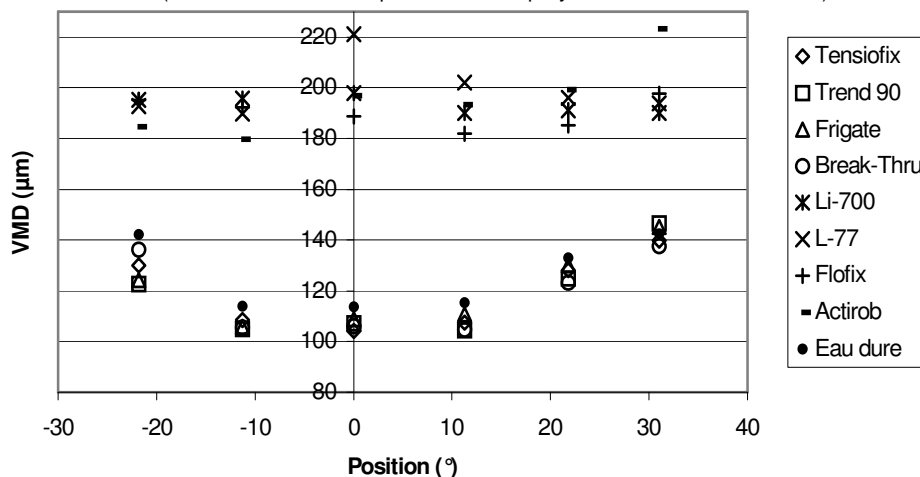


L'eau seule et les mélanges d'adjuvants solubles dans l'eau ont un mode de rupture par oscillation. La longueur de la veine fluide avant rupture est plus grande que celle obtenue avec les émulsions et est sensiblement égale à celle de l'eau. Pour expliquer ce comportement, les différences existant au niveau des tensions de surface dynamiques ne sont pas suffisantes. Une

étude plus approfondie des relations entre la longueur de la veine fluide et la CMC pourrait apporter un complément d'information.

L'influence du type de mélange sur le DVM (Figure 4) découle directement des observations réalisées ci-dessus. En effet, comme le diamètre des gouttes est fonction de l'épaisseur de la veine fluide à l'endroit où se produit la rupture, on constate que plus la longueur de la veine est courte (cas des émulsions), plus l'épaisseur du jet est importante et donc le DVM augmente. Inversement, les solutions augmentant légèrement la longueur de la veine liquide par rapport à l'eau ont un DVM qui lui est légèrement inférieur. Ces observations sont applicables en ce qui concerne la buse à fente et la buse conique. Pour les essais menés sur la buse anti-dérive, l'effet est nettement moins flagrant. Ceci est probablement dû à l'inclusion de bulles d'air dans les gouttelettes qui augmente leur diamètre et masque l'impact des adjuvants sur la granulométrie.

Figure 4 - Variation du DVM en fonction de la position dans le jet ; buse conique.  
(Variation of VMD with position in the spray for the hollow cone nozzle)



A la pression utilisée (3 bars), l'effet des adjuvants sur la distribution transversale statique apparaît surtout pour les buses coniques (Figure 5). La distinction opérée préalablement entre émulsions et solutions est nettement marquée. D'un point de vue pratique, ceci signifie que l'uniformité de la répartition transversale le long de la rampe de pulvérisation est largement affectée par le type d'adjuvant. L'utilisation de descripteurs statistiques adéquats permet de tirer des conclusions identiques avec les deux autres types de buses.

Les mesures de répartition sur le banc dynamique montrent une répartition sensiblement différente de celle qui est observée au banc statique et ce, quel que soit le type de buse. La Figure 6 illustre ce phénomène pour la buse conique. Du fait du mouvement de la buse, la distribution de la répartition devient bimodale : les gouttes les plus fines situées au centre du jet subissent des effets aérodynamiques qui les font se

déposer en arrière de la buse, ce qui confirme des observations antérieures (Lebeau, 2003). D'un point de vue pratique, ceci nécessiterait d'être approfondi car le phénomène de transport aérodynamique des gouttes conditionne fortement la dérive.

Figure 5 - Distribution normalisée de la répartition transversale statique pour la buse conique.  
(Normalized spray volume distribution pattern across the hollow cone)

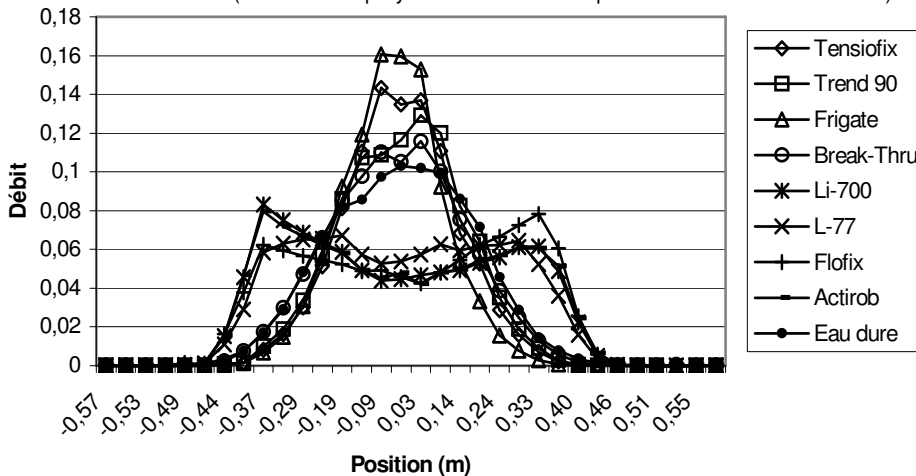
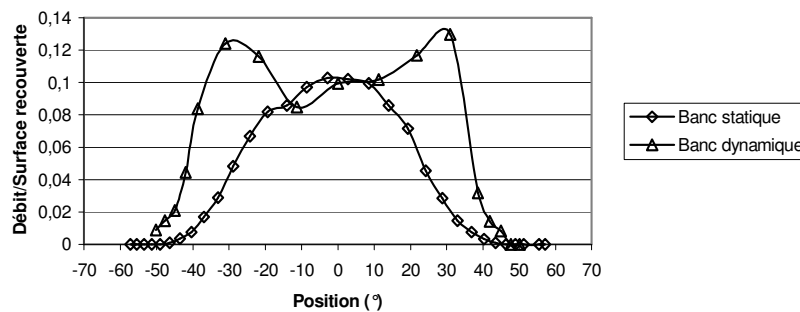


Figure 6 - Distribution normalisée de la répartition transversale statique et dynamique pour la buse conique.  
(Normalized static and dynamic spray distribution across the hollow cone nozzle)



## CONCLUSION

L'analyse d'images du jet issu d'une buse (qu'il s'agisse d'une buse à fente, à jet conique creux ou anti-dérive) montre que l'on peut distinguer deux catégories d'adjuvants sur base de la formation du jet de pulvérisation: la première catégorie comporte des adjuvants en solution qui provoquent une rupture par oscillation et retardent la rupture de la veine fluide à la sortie de la buse. Dans la deuxième catégorie, se trouvent des adjuvants sous forme d'émulsion qui provoquent une rupture par perforation. Les mesures réalisées au granulomètre laser montrent que les premiers génèrent des gouttes de plus petite taille que les seconds. Ceci peut notamment influencer la dérive, qui est conditionnée par la proportion de gouttes de taille inférieure à 100  $\mu\text{m}$ , ou l'efficacité biologique.

La méthode utilisée pour mettre en évidence les phénomènes de rupture, à savoir l'analyse d'images du jet à la sortie de la buse, permet de mesurer la

longueur de la veine fluide avant rupture, mesure qui est fortement corrélée à la taille des gouttes. Cette méthode nécessiterait cependant de faire l'objet d'investigations plus approfondies pour d'une part mieux cerner le mécanisme de formation des gouttes et d'autre part caractériser d'autres paramètres du jet tels que sa forme.

La distribution statique de la répartition est influencée par le type de buse mais aussi par l'adjuvant. A la pression utilisée (3 bars), les adjuvants affectent surtout la répartition des buses coniques, les émulsions induisant une distribution moins uniforme que les solutions. D'un point de vue pratique, ceci signifie que l'uniformité de la répartition transversale le long de la rampe de pulvérisation sera largement affectée par le type d'adjuvant. Ceci montre également que les essais réalisés au banc de répartition menés selon la norme ISO 5682 ne permettent pas de rendre compte correctement du comportement des buses.

Par ailleurs, sous l'effet de la vitesse (résultant de l'action du vent et de l'avancement de la buse), les gouttes les plus fines voient leur trajectoire modifiée en raison d'effets aérodynamiques. Pour évaluer ce phénomène, des mesures de répartition dynamique ont été effectuées. Elles montrent que les gouttes les plus fines, situées au centre du jet, sont emportées et déposées à la périphérie du jet, quel que soit le type de buse et d'adjuvant. Cet effet est davantage marqué pour les buses à fente et coniques que pour les buses anti-dérive.

### REMERCIEMENT

Cette étude a été financée par le Ministère de la Région Wallonne (Belgique) dans le cadre de la convention RW-1025 .

### BIBLIOGRAPHIE

- BUTLER ELLIS M.C., TUCK C.R., (1999). How adjuvants influence spray formation with different hydraulic nozzles. *Crop protection* 18, 101-109.
- BUTLER ELLIS M.C., TUCK C.R., MILLER P.C.H. (2001). How surface tension of surfactant solutions influences the characteristics of sprays produced by hydraulic nozzles used for pesticide application. *Colloids and Surfaces, Physicochemical and Engineering Aspects* 180, 267-276.
- BUTLER ELLIS M.C., BRADLEY A. (2002). The influence of formulation on spray drift, *Aspect of Applied Biology* 66, International advances in pesticide application, 257-266
- LEBEAU F. (2003). Modélisation de la répartition dynamique au sol des produits phytosanitaires sous une rampe de pulvérisation, Thèse de Doctorat, F.U.S.A.Gx, 190p.