

CHAPITRE 4

EVALUATION EXPERIMENTALE DE LA REPARTITION DYNAMIQUE

A l'aide du banc dynamique décrit au chapitre 3, la répartition dynamique de la buse XR11003VK à 2 bars est mesurée dans diverses conditions expérimentales : à vitesse constante, à vitesse variable et sous différentes hauteurs. Dans un premier temps, une mesure continue de la répartition est effectuée par analyse d'images. Ensuite, compte tenu des limites de la méthode, la répartition est mesurée par dosage du KCl, puis par pesée de celui-ci.

4.1 Mesures de la répartition par analyse d'images

4.1.1 Vitesse constante

A vitesse constante, la répartition apparaît relativement uniforme, selon la direction d'avancement (Figures 4.1. et 4.2.).

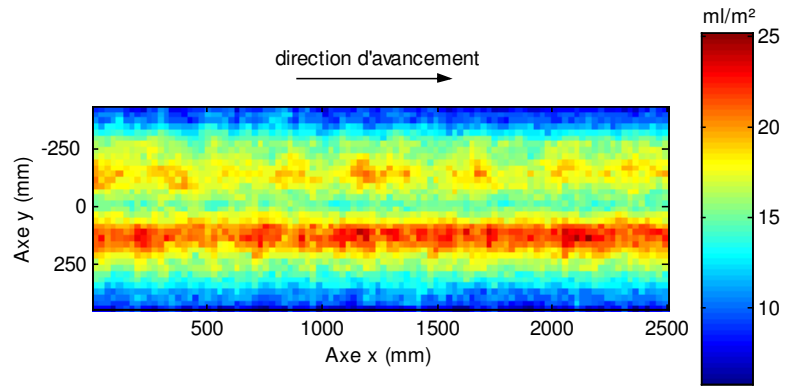


Figure 4.1. : Mesure de la répartition de la buse Teejet XR11003VK par analyse d'images (pression = 2 bars, vitesse = 1 m/s, hauteur = 55 cm).

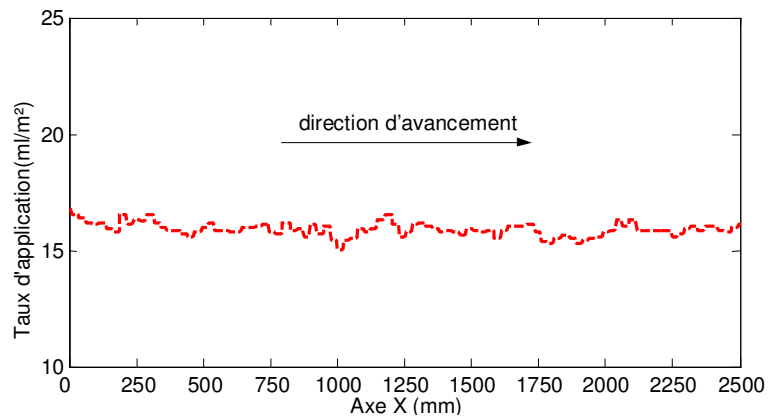


Figure 4.2. : Répartition longitudinale moyenne mesurée par analyse d'image (vitesse = 1 m/s, hauteur = 55 cm).

Transversalement, une répartition bimodale asymétrique se dessine avec un minimum local situé à proximité de l'axe de la buse (Figure 4.3.). Elle est liée à la distribution transversale de la buse qui est également dissymétrique. La modélisation de la répartition dynamique doit par conséquent se baser sur la distribution de la buse. Les chapitres 5, 6 et 7 préciseront les relations qui existent entre la distribution de la buse et la répartition. Pour le reste, la

variabilité longitudinale du taux d'application s'explique par les variabilités de la méthode de mesure et de la répartition.

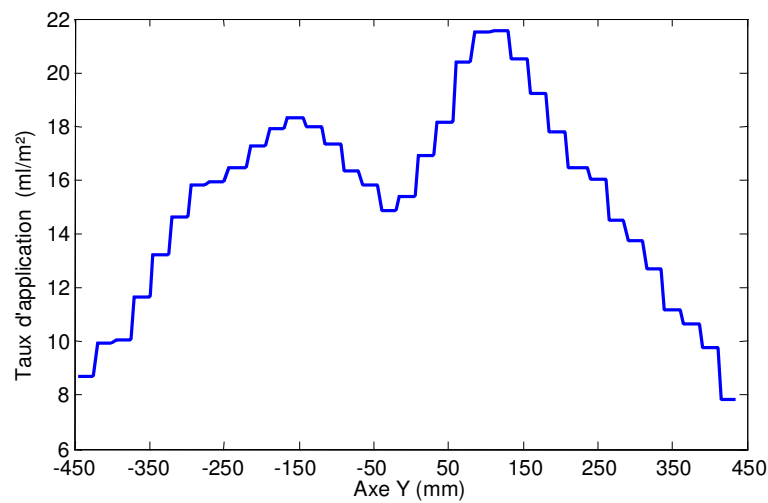


Figure 4.3. : Répartition transversale moyenne mesurée par analyse d'image (vitesse = 1 m/s, hauteur = 55 cm).

4.1.2 Vitesse variable

Pour mesurer l'effet du mouvement horizontal des buses, une vitesse moyenne de 1 m/s à laquelle se superpose une variation sinusoïdale de vitesse de 0,6283 m/s d'amplitude ($2\pi \cdot 0,1$ m/s) et 0,9 Hz de fréquence a été appliquée à la buse. Cette sollicitation correspond à une amplitude de déplacement de 10 cm. On a donc :

$$v = 1 - 2\pi \cdot 0,1 \cos(2\pi \cdot 0,9t) \quad (4.1)$$

avec v : la vitesse de la buse en m/s;
 t : le temps en secondes.

Ces valeurs d'amplitude et de fréquence correspondent à une sollicitation de forte intensité et de haute fréquence, qui peut être observée sur les rampes de pulvérisation. Ce genre de sollicitation permet de mettre en évidence les performances du modèle en conditions sévères.

La mesure de répartition obtenue par analyse d'images est présentée à la Figure 4.4. Il apparaît que l'inclinaison de 10° de l'axe principal de la buse par rapport à l'axe x , classiquement utilisée pour éviter les interférences entre jets voisins de buses à fente, se marque sur la répartition. Cela montre qu'il est nécessaire de tenir compte de la distribution bidimensionnelle de la buse pour modéliser la répartition dynamique.

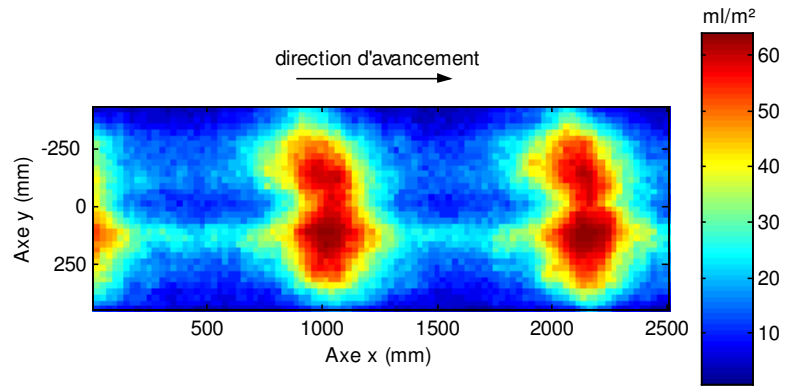


Figure 4.4. : Mesure de la répartition de la buse Teejet XR11003VK par analyse d'images (pression = 2 bars, $v=1+(0,6283\sin(5.655 t))$ m/s, hauteur = 55 cm).

La Figure 4.5. montre en outre que la variation de vitesse sinusoïdale provoque une variation cyclique non sinusoïdale de la répartition longitudinale.

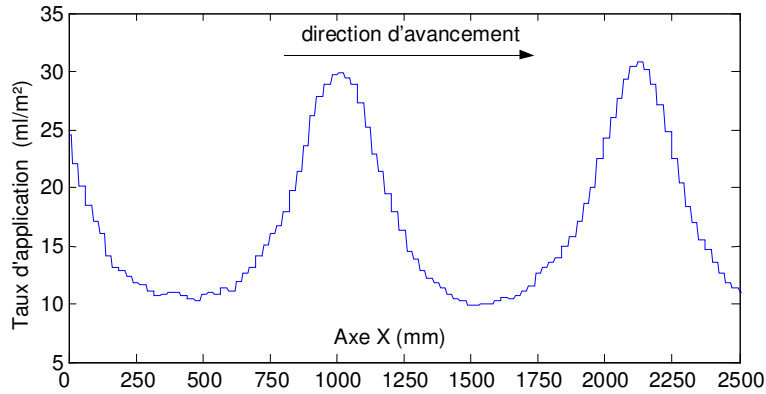


Figure 4.5. : Répartition moyenne longitudinale mesurée par analyse d'images pour ($v = 1 + (0,6283 \sin(5.655 t))$ m/s et $h = 55$ cm).

D'autre part, la distance x pour l'expression l'équation 4.2. en omettant la constante d'intégration correspondant à la position initiale:

$$x(t) = t - 0,1 \sin(2\pi 0,9t) \quad (4.2)$$

avec x : la distance parcourue en m ;
 t : le temps en secondes.

Moyennant le changement de variable suivant,

$$u = 2\pi 0,9t \quad (4.3)$$

l'Equation 4.2. devient

$$x(u) = \frac{u}{2\pi 0,9} - 0,1 \sin(u) \quad (4.4)$$

et sa dérivée, la vitesse, a pour expression

$$v(u) = \frac{1}{2\pi 0,9} - 0,1 \cos(u) \quad (4.5)$$

ce qui correspond à la forme canonique paramétrique d'une trochoïde (Equation 4.6).

$$(u) = at - b \sin(u) \quad \text{et} \quad (v) = a - b \cos(u) \quad (4.6)$$

avec $a = \frac{1}{2\pi 0,9}$ et $b = 0,1$

Il en résulte que la vitesse de la buse en fonction de la distance parcourue varie selon une trochoïde (Figure 4.6.). Celle-ci est en opposition de phase par rapport à la répartition (Figure 4.5.).

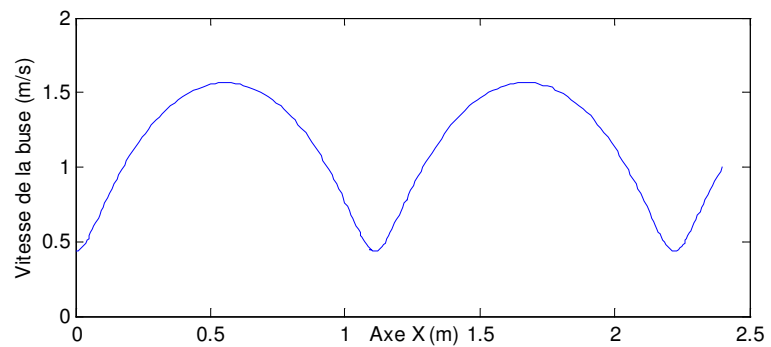


Figure 4.6. : Vitesse de la buse en fonction de la distance ($v = 1 + 0,2 \pi \sin(0,2 \pi t)$ m/s et $h=55\text{cm}$).

La répartition transversale moyenne (Figure 4.7.) apparaît très proche de celle mesurée pour l'essai à vitesse constante, elle présente les mêmes caractéristiques de minimum local au centre d'une distribution bimodale.

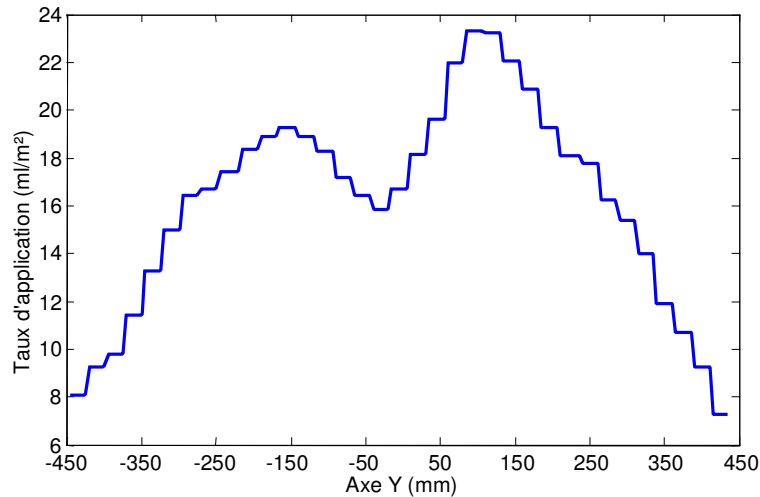


Figure 4.7. : Répartition transversale moyenne mesurée par analyse d'images ($v=1+0,2 \pi \sin(0,2 \pi t)$ et $h=55\text{cm}$).

4.1.3 Hauteur variable

Une hauteur variable de pulvérisation est obtenue en faisant varier linéairement la hauteur du collecteur de 700 à 300 mm de hauteur en 2,5 mètres. Le résultat de la mesure de répartition est présenté à la Figure 4.8. L'effet de la diminution de hauteur de pulvérisation se marque par un rétrécissement de la distribution transversale. La distribution transversale bimodale est présente à toutes les hauteurs.

Aux faibles hauteurs, la somme des taux d'application calculés à partir de la répartition dépasse le débit fourni par la buse. Une variation de la relation entre taux de couverture et dose appliquée en fonction de la hauteur est à mettre en cause.

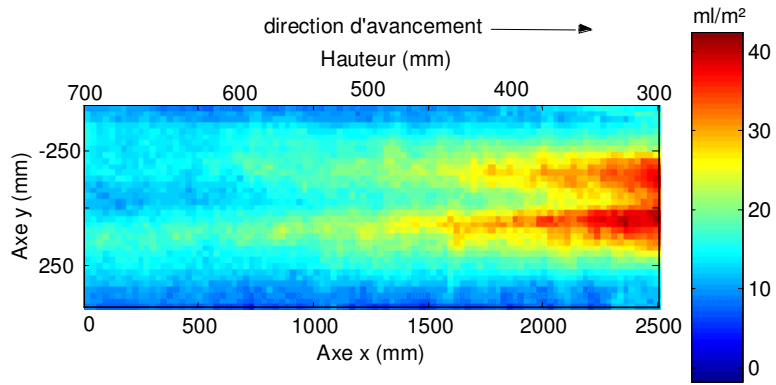


Figure 4.8. : Mesure de la répartition de la buse Teejet XR11003VK par analyse d'images, (pression = 2 bars, $v=1\text{m/s}$ et h variant linéairement de 700 à 300 mm).

4.2 Mesures de la répartition par dosage du KCl

Deux phénomènes mis en évidence au paragraphe précédent (fluctuations de la distribution longitudinale observées pour des essais à vitesse constante et impossibilité de calculer précisément le taux d'application à partir des mesures de taux de couverture, particulièrement lorsque la hauteur varie) incitent à utiliser une méthode de mesure plus précise de la répartition, à savoir la méthode basée sur le dosage du KCL, exposée au chapitre 3. Le plan d'échantillonnage comprend 10 boîtes disposées à 100 mm d'intervalle parallèlement à l'axe x ($y = -50$ mm) et 20 boîtes disposées à 100 mm d'intervalle selon l'axe y ($x = 0$ mm) (Figure 4.9.).

Les essais sont réalisés pour un passage de la buse au-dessus des collecteurs à vitesse constante (1 m/s) et hauteur constante (55 cm).

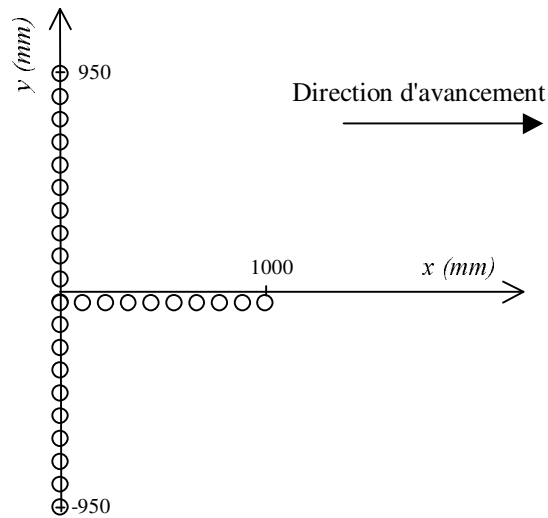


Figure 4.9. : Plan d'échantillonnage de mesure de la répartition par dosage du KCl.

4.2.1 Répartition longitudinale

La valeur moyenne de la dose selon l'axe d'avancement ($y = -50$ mm) s'établit à $14,8$ ml/m². L'écart-type est égal à $0,86$ ml/m², ce qui correspond à un coefficient de variation de $5,8$ %. Les valeurs extrêmes valent respectivement $13,6$ et $16,2$ ml/m². Elles se situent dans une fourchette relativement large, pour des conditions opératoires identiques. La variabilité tient probablement au fait que la pulvérisation de la veine fluide à la sortie de la buse est un régime transitoire (entre la canalisation et l'orifice, le nombre de Reynolds passe de 1800 à 17500) qui donne lieu à un spectre de gouttelettes dont la trajectoire présente un caractère aléatoire. La méthode de mesure pouvant être considérée comme une méthode de référence, le coefficient de variation de l'ordre de 5 % constitue une limite de précision.

4.2.2 Répartition transversale

La répartition transversale de la buse est représentée à la Fig. 4. 10. Les mesures longitudinales ($y = - 50$ mm) sont reprises en bleu pour rappeler la variabilité de la répartition observée au paragraphe précédent. Le bilan massique peut être obtenu en intégrant numériquement par la méthode des trapèzes la surface sous la courbe. La valeur obtenue, 16,9 ml/s, est très proche du débit de la buse (16,5 ml/s). L'hypothèse selon laquelle l'intégralité du jet se dépose sous la buse apparaît acceptable.

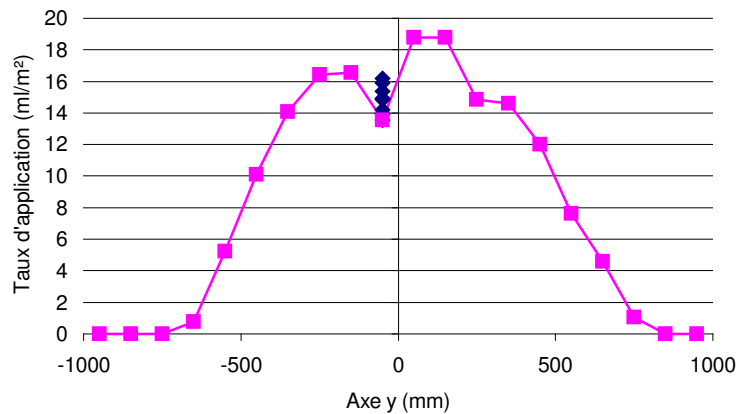


Figure 4.10. : Répartition transversale de la buse à 1m/s et 55 cm de hauteur par dosage du KCl.

4.3 Mesures de la répartition par pesée du KCl

4.3.1 Vitesse constante

Trois essais indépendants à 1 m/s et 50 cm de hauteur ont été réalisés à une quinzaine de jours d'intervalle. La répartition transversale est mesurée dans des boîtes de Pétri disposées perpendiculairement au sens d'avancement et espacées de 70 mm. Le résultat des mesures est présenté à la Figure 4.11. A

nouveau, une grande variabilité est observée. Elle est particulièrement importante pour les doses élevées situées au centre de la distribution. A titre d'exemple l'écart-type du point de mesure situé en $y = -70$ mm vaut $1,7$ ml/m². Un phénomène d'usure de la buse ne semble pas à l'origine du phénomène. Le débit mesuré tout au long des essais est resté constant. De plus, les trois essais ne montrent pas de tendance chronologique, les valeurs du premier essai sont situées entre les valeurs observées pour les deuxième et troisième essais.

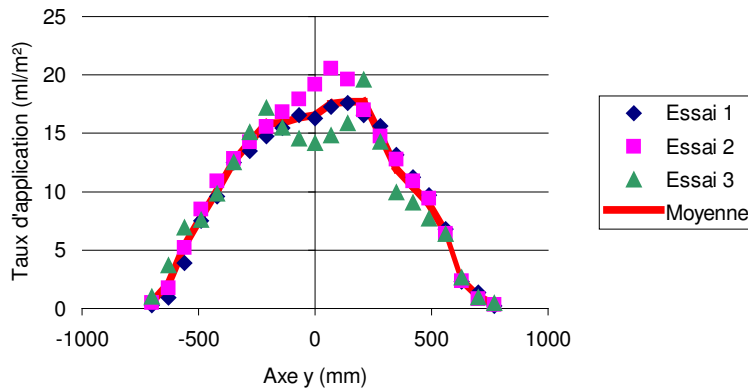


Figure 4.11. : Répartition transversale de la buse à 1 m/s et 50 cm de hauteur par pesée du KCl lors de trois essais distincts.

La variabilité observée est telle qu'il apparaît naturel de se poser la question de la validité de la méthode de mesure, d'autant que chaque essai correspond à la moyenne de 150 passages de la buse. En effet, malgré les précautions expérimentales, plusieurs sources de variabilité sont possibles : mauvaise efficacité des collecteurs, rebond des gouttelettes, variabilité des diamètres des boîtes, mauvais positionnement, nettoyage de l'extérieur insuffisant,... Cependant, la Figure 4.12. permet d'infirmer toutes ces hypothèses. Il présente trois mesures de la répartition transversale à 100 mm d'intervalle selon l'axe d'avancement lors d'un même essai. Pour la vitesse d'avancement constante de 1 m/s, ces trois mesures peuvent être considérées comme des répétitions car elle sont simplement décalées dans le temps d'un dixième de

seconde. Pour ces trois répétitions, l'écart-type moyen du point de mesure situé en $y = -70$ mm n'est que de $0,26$ ml/m². Il apparaît donc que la variabilité dans le temps de la distribution transversale qui a été observée à la Figure 3.3. doit être incriminée pour expliquer les différences observées entre essais indépendants et pas une défaillance de la méthode de mesure.

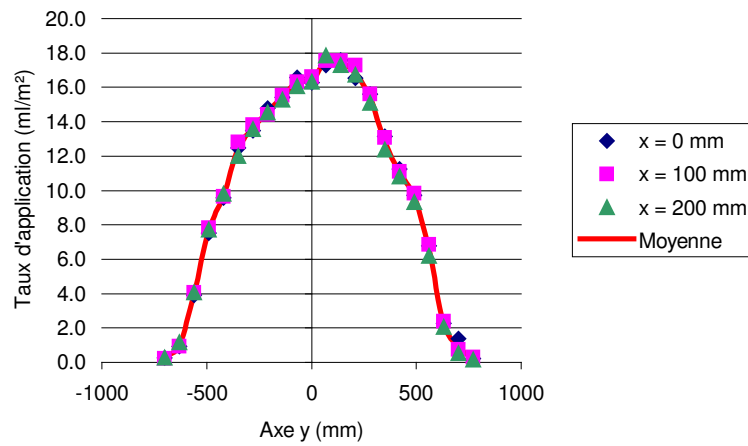


Figure 4.12. : Répartition transversale de la buse à 1m/s et 50 cm de hauteur par pesée du KCl: trois mesures à 100 mm d'intervalle selon l'axe x.

4.3.2 Vitesse variable

Trois essais indépendants réalisés à une vitesse de $1+0,2 \pi \sin(2 \pi t)$ m/s et 50 cm de hauteur ont été menés à quelques jours d'intervalle (avec t , le temps en secondes). La trochoïde décrivant la vitesse de la buse en fonction de la position selon l'axe d'avancement est présentée à la Figure 4.13. Comme précédemment, cette sollicitation fort énergétique (10 centimètres d'amplitude pour 1 Hz) a été choisie car elle permet ultérieurement de valider le modèle dans des conditions extrêmes.

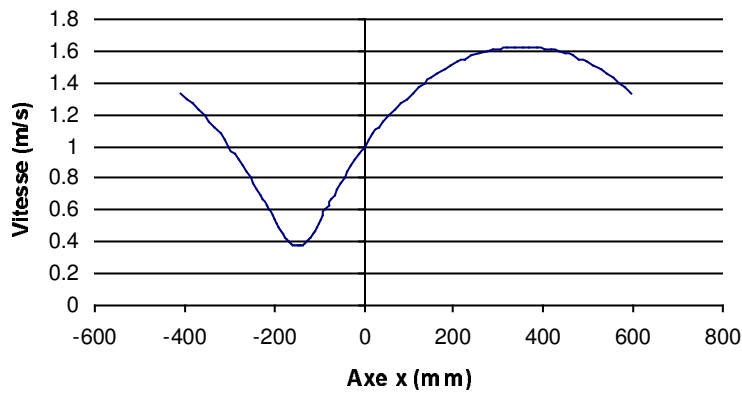


Figure 4.13. : Vitesse de la buse en fonction de la distance; vitesse de $1+0,2 \pi \sin(2 \pi t)$ m/s et 50 cm de hauteur.

La répartition est mesurée en effectuant 105 passages de la buse, les boîtes de Pétri étant disposées selon un maillage carré de 100 mm de côté (Figure 4.14.). Il est composé de 10 et 14 rangées disposées respectivement selon la direction d'avancement (de -400 à 500 mm) et perpendiculairement à cette dernière (de -650 à 650 mm).

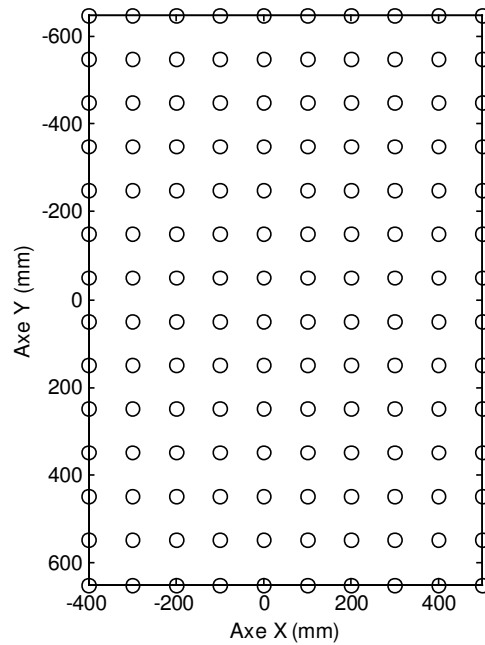


Figure 4.14. : Plan d'échantillonnage de mesure de la répartition pour l'essai à vitesse variable par pesée du KCl.

La zone d'échantillonnage d'un mètre de long et de 1,3 mètres de large permet de mesurer un cycle complet sur la largeur de la buse. Le résultat moyen des mesures interpolé pour des éléments de surface carrés de 50 mm de côté est présenté à la Figure 4.15. Comme pour l'essai similaire mesuré par analyse d'image au point 4.1.2, la répartition dans le plan (x,y) fait apparaître une forte variabilité transversale et longitudinale.

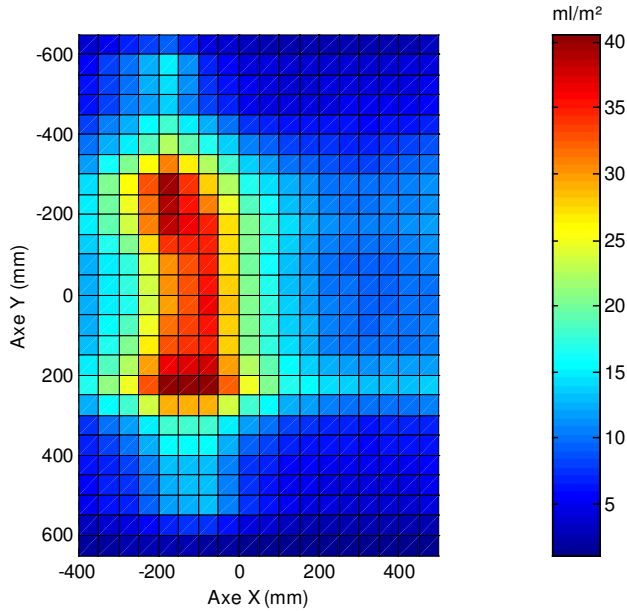


Figure 4.15. : Répartition de la buse Teejet XR11003VK par pesée du KCl (pression = 2 bars, vitesse de $1+0,2 \pi \sin(2 \pi t)$ m/s, 50 cm de hauteur).

La Figure 4.16. présente la répartition longitudinale à 50 mm de l'axe de la buse ($y = -50$ mm). Les mesures sont limitées à un cycle. La répartition longitudinale présente un profil proche de celui observé à la Figure 4.5. qui s'apparente à une trochoïde.

La Figure 4.17. présente la répartition transversale moyenne (pour les 10 positions de mesure de la répartition transversale selon l'axe X) sur un cycle. Elle présente un profil légèrement asymétrique marqué par plusieurs points d'inflexion.

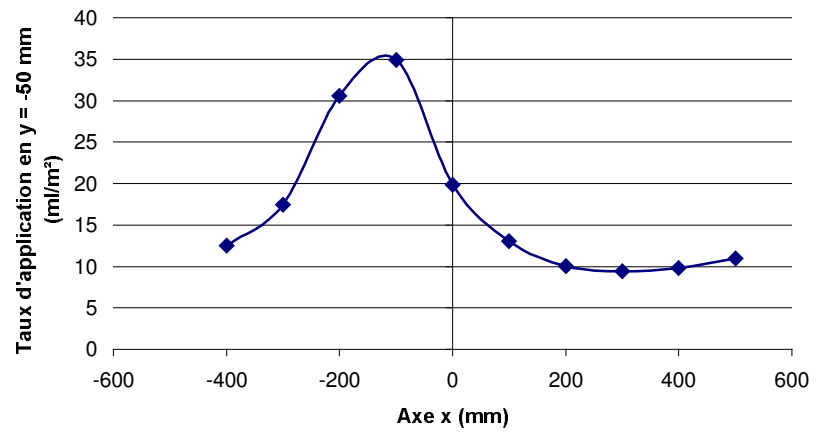


Figure 4.16. : Répartition longitudinale de la buse en $y = -50$ mm pour une vitesse de $1+0,2 \pi \sin(2 \pi t)$ m/s et 50 cm de hauteur par pesée du KCl.

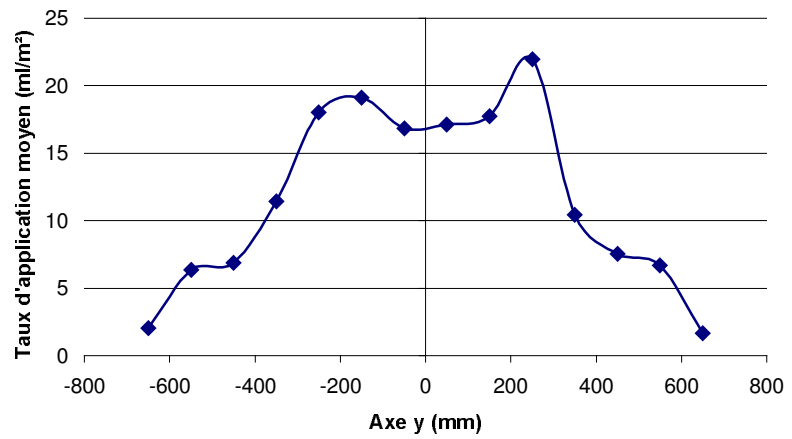


Figure 4.17. : Répartition transversale moyenne de la buse pour une vitesse de $1+0,2 \pi \sin(2 \pi t)$ m/s et 50 cm de hauteur par pesée du KCl.

Pour évaluer la variabilité temporelle en chaque point de mesure, l'écart-type du taux d'application mesuré y est calculé (Figure 4.18.). L'écart-type est préféré ici au coefficient de variation car ce dernier est trop affecté par les basses valeurs du taux d'application moyen. Des erreurs de plusieurs dizaines de pourcent sur un taux d'application quasiment nul ne sont en effet pas significatives. La variabilité est importante. Elle est logiquement supérieure aux points où la dose est la plus élevée. La valeur extrême approche 2,4 ml/m².

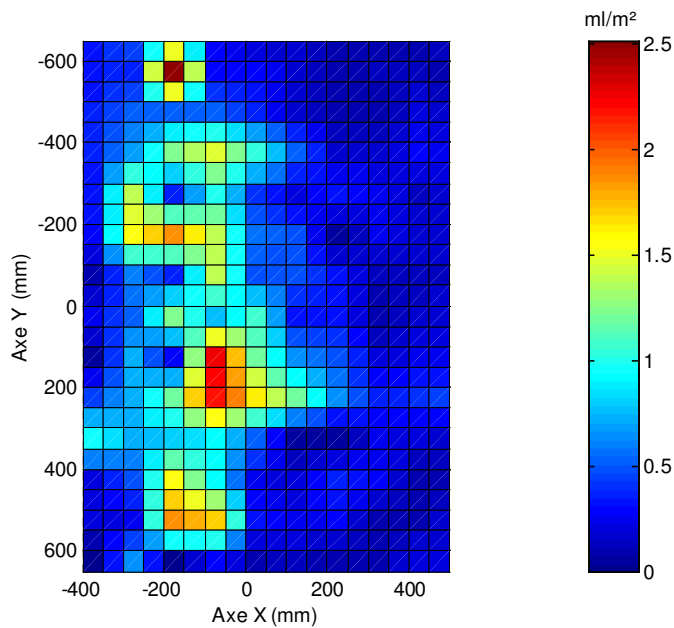


Figure 4.18. : *Ecart-types de la répartition de la buse par pesée du KCl (vitesse de $1+0,2 \pi \sin(2 \pi t)$ m/s et 50 cm de hauteur).*

4.3.3 Hauteur variable

Trois essais indépendants réalisés à une vitesse constante de 1 m/s pour une hauteur de pulvérisation variant linéairement de 700 à 300 mm sur une distance de 2,4 mètres ont été réalisés à quelques jours d'intervalle. Cette pente

importante (16,7%) a été choisie d'une part en raison de la course limitée du banc d'essai ainsi que pour solliciter de manière énergique le système en vue de la validation du modèle. La répartition dans le plan est mesurée pour 100 passages de la buse dans les boîtes de Pétri disposées selon un maillage irrégulier qui pourrait être qualifié de pyramidal (Figure 4.19.). Il est composé de 9 rangées selon la direction d'avancement (de $x = 0$ à $x = 2400$ mm) correspondant à des hauteurs décroissantes de 700 à 300 mm par pas de 50 mm. Transversalement, une quinzaine de boîtes sont disposées à un intervalle décroissant avec la hauteur, de 100 à 55 mm pour s'adapter au rétrécissement progressif de la répartition.

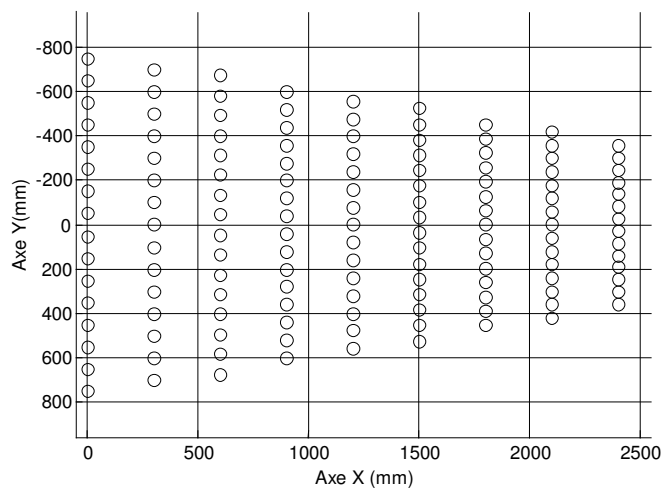


Figure 4.19. : Plan d'échantillonnage de mesure de la répartition pour l'essai à hauteur variable par pesée du KCl.

Le résultat moyen des mesures interpolé pour des éléments de surface carrés de 50 mm de côté est présenté à la Figure 4.20. Les zones bleu sombre sont en-dehors de la zone de mesure. Comme pour l'essai similaire mesuré par analyse d'image au point 4.1.3, la dose se concentre autour de l'axe d'avancement de la buse pendant que la répartition transversale se rétrécit sous l'effet de la diminution de hauteur dans le sens d'avancement.

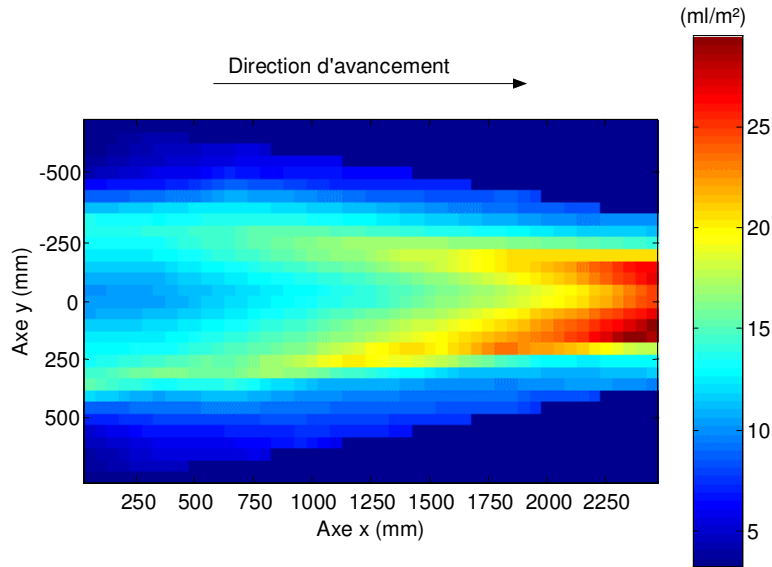


Figure 4.20. : Répartition de la buse Teejet XR11003VK par pesée du KCl (pression = 2 bars, vitesse de 1 m/s et hauteur variant de 700 à 300 mm).

La Figure 4.21. présente l'écart-type en chaque point. A nouveau, une grande variabilité est observée. Elle est supérieure aux points où la dose est la plus élevée, qui correspondent à la hauteur minimale de pulvérisation. La valeur extrême approche 3 ml/m².

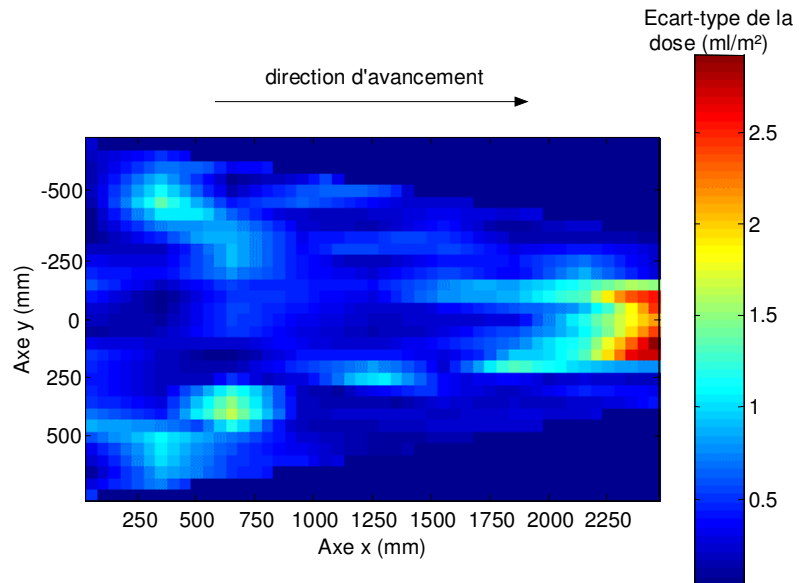


Figure 4.21. : *Ecart-types de la répartition de la buse par pesée du KCl (vitesse de 1 m/s et hauteur variant de 700 à 300 mm).*

4.4 Conclusion

La répartition dynamique a été mesurée par trois méthodes différentes, à savoir l'analyse d'images, le dosage du KCl par voie chimique et la pesée de collecteurs.

L'analyse d'images permet d'effectuer une mesure en continu de la répartition et s'avère intéressante pour illustrer l'effet des mouvements de buse sur la répartition. Cependant, sa précision est limitée et il est nécessaire de

recourir à des méthodes quantitatives plus laborieuses pour quantifier précisément l'effet des mouvements.

Grâce à la méthode recourant au dosage du KCl, qui peut être qualifiée de méthode de référence, la variabilité spatiale de la répartition a pu être chiffrée. Etant donné la lourdeur de la méthode, nous nous sommes surtout intéressés à la variabilité longitudinale mesurée le long d'un transect. Dans les conditions expérimentales que nous nous sommes fixées, elle est de l'ordre de 5 %.

La pesée du KCl recueilli dans des boîtes de Pétri, plus rapide à mettre en œuvre que la méthode précédente et plus précise que l'analyse d'images, a permis de mesurer la répartition selon un maillage dense. Elle fournit les répartitions spatiales, à la fois longitudinales et transversales. En outre, elle permet de mettre en évidence une variabilité temporelle de la répartition liée à la variabilité temporelle de la distribution de la buse.