

# MODELISATION D'UN DISTRIBUTEUR CENTRIFUGE POUR L'ETUDE DE LA REPARTITION SPATIALE DE L'ENGRAIS

Sylvain Villette<sup>1</sup>, Emmanuel Piron<sup>2</sup>, Denis Miclet<sup>2</sup>, Bernard Nicolardot<sup>1</sup>, Christelle Gée<sup>1</sup>

<sup>1</sup> AgroSup Dijon, UMR 1347 Agroécologie, BP 87999, 21079 Dijon Cedex, France  
[sylvain.villette@agrosupdijon.fr](mailto:sylvain.villette@agrosupdijon.fr)

<sup>2</sup> IRSTEA, Domaine des Palaquins, 03150 Montoldre, France

La distribution centrifuge est très couramment utilisée en Europe pour épandre les engrais minéraux solides. L'uniformité de la répartition spatiale de l'engrais est traditionnellement évaluée par un *Coefficient de Variation* (CV) transversal. Lorsqu'il est mesuré selon un protocole normalisé (i.e. norme EN13739-2, 2011) le CV permet de comparer efficacement la qualité de la répartition obtenue par différentes machines ou selon différents réglages pour une largeur de travail fixée. En revanche, peu de travaux concernent l'interprétation plus générale de la valeur de CV. La correspondance entre une valeur de CV obtenue selon un protocole normalisé et la valeur de CV qui serait obtenue au champ n'est pas évidente. La probabilité d'obtenir une dose d'engrais sur une surface définie à l'échelle de la plante est peu documentée et l'influence de la dose d'apport sur la valeur du CV est mal connue. Enfin, une valeur de CV ne permet pas de rendre compte de l'incidence de la ségrégation balistique sur la qualité de la répartition des engrais.

Expérimentalement, l'exploration de la plupart de ces problématiques est particulièrement difficile à réaliser du fait des interactions entre certaines variables et du nombre de répétitions requises. Toutefois, ces études peuvent être menées en ayant recours à des simulations et une modélisation de la distribution centrifuge.

La distribution centrifuge a été étudiée dans la littérature en termes de processus d'accélération et d'éjection de l'engrais au niveau du disque d'épandage et dans une moindre mesure en termes de vol balistique des granules. Des techniques ont également été développées pour caractériser le comportement physique de l'engrais et pour mesurer la répartition de l'engrais au sol. Peu de travaux ont en revanche abouti à une modélisation paramétrée par des mesures expérimentales et permettant de simuler une répartition au sol véritablement représentative d'une répartition réelle. En particulier, la littérature actuelle ne propose pas de modèle rendant compte de l'effet de la dose ou de la ségrégation balistique sur la répartition spatiale des granules d'engrais.

Cette communication présente un modèle d'épandage centrifuge basé sur une description mécanique du mouvement de l'engrais (sur le disque et en vol balistique). La modélisation exploite une description statistique de quatre paramètres d'entrée : distribution granulométrique de l'engrais, distribution des angles horizontaux d'éjection, distribution des angles verticaux d'éjection, et distribution angulaire du flux massique.

Certains de ces paramètres sont mesurés au moyen de dispositifs originaux tels que :

- un système d'imagerie pour mesurer les angles horizontaux d'éjection, qui seront ensuite convertis en vitesses d'éjection au moyen d'un modèle cinématique (Villette et al., 2008),
- un système de relevés d'impacts pour caractériser les angles verticaux d'éjection (Villette et al., 2013),
- le banc de mesure rotatif Cemib d'IRSTEA pour caractériser la distribution massique angulaire (Piron et Miclet, 2005).

La répartition de l'engrais au sol mesurée par le banc Cemib d'IRSTEA permet également de renseigner le modèle sur le comportement aérodynamique de l'engrais en estimant son coefficient de traînée par comparaison de la répartition simulée avec la répartition réelle.

Le modèle considère un distributeur virtuel équipé de deux disques. Le réglage de la machine est simulé par la rotation angulaire des nappes d'épandage éjectées par chaque disque ce qui reproduit une modification de la position du point de chute de l'engrais sur les disques. La largeur de travail est imposée par la distance prise en compte entre les passages adjacents lors du calcul des recouvrements. Le choix de l'effectif des granules servant à la simulation permet quant à lui de définir la dose d'application pour une largeur de travail fixée.

Le calcul de la nappe d'épandage exploite la méthode de Monte-Carlo, en réalisant des tirages aléatoires selon les distributions statistiques des paramètres d'entrée et en introduisant ces valeurs dans le modèle mécanique d'éjection puis le modèle de vol balistique.

Pour valider le modèle, la répartition réelle et la répartition simulée à poste fixe ont d'abord été comparées. L'étude a été menée pour un épandage d'ammonitrate avec un disque tronconique entraîné à 810 tr/min et équipé de pales de 395 mm de rayon. Pour cet engrais et ces conditions d'épandage, des simulations ont été réalisées pour caractériser l'incidence de la dose et du protocole de mesure sur la valeur du coefficient de variation CV transversal. Les résultats montrent que pour une même qualité de réglage et une même largeur de travail, la valeur du CV augmente lorsque la dose diminue. Cette observation traduit le caractère aléatoire de la répartition de l'engrais pour les faibles doses d'application quel que soit le réglage réalisé au niveau de la machine. Les simulations montrent également que les valeurs de CV obtenues selon le protocole normalisé (EN13739-2, 2011) sont sensiblement plus faibles que les valeurs théoriques du CV qui seraient obtenues au champ pour la dose cible.

Des simulations ont également été réalisées pour étudier la ségrégation balistique des granules d'engrais. Le simulateur permet en effet de suivre chaque granule tout au long du processus d'épandage. La répartition transversale de l'engrais après recouvrement peut ainsi être analysée non seulement en termes de distribution de la masse d'engrais mais également en termes de distribution granulométrique. Les résultats montrent que dans le cas d'un réglage donnant lieu à une répartition « triangulaire », la variation de granulométrie sur la largeur de travail est inexistante après recouvrements. En revanche, dans le cas d'un réglage donnant lieu à une répartition « trapézoïdale », le changement de granulométrie peut devenir sensible sur les extrémités de la largeur de travail.

La modélisation a également été utilisée pour analyser l'impact de la ségrégation balistique dans le cas d'un engrais composé obtenu par mélange physique de deux engrais initiaux. La simulation a été réalisée pour un mélange constitué à parts égales de deux engrais choisis avec la même granulométrie, la même masse volumique, mais avec deux coefficients de traînée ( $C_x$ ) différents (0.47 et 0.60). Les résultats montrent que pour certains réglages et largeurs de travail, les CV calculés pour chacun des composants du mélange peuvent être bien moins bons que le CV global déduit de la répartition transversale du mélange.

La probabilité d'apporter une dose avec une marge d'erreur fixée sur une surface donnée à l'échelle de la plante peut être calculée à partir des informations statistiques obtenues en termes de distribution granulométrique locale et de variabilité locale de la dose. Pour l'une des situations étudiées, les simulations montrent par exemple que la probabilité d'obtenir 100 kg/ha à +/- 10% près sur une surface de 30 cm de diamètre n'est que de 35 %.

Les premiers résultats montrent que le modèle de distribution centrifuge présente un intérêt en matière de recherche et développement pour accéder à des informations qu'il reste difficile, voire impossible, d'obtenir expérimentalement. La prise en compte de la variabilité des paramètres d'entrée et le grand nombre de répétitions, rendus possibles par les simulations numériques, permet avec ce type d'approche d'accéder aux caractéristiques statistiques des variables de sortie.

Outre la poursuite de l'exploration des différents champs d'investigation brièvement présentés dans cette communication, un objectif est de coupler ce modèle à des modèles de transferts des éléments fertilisants dans le sol et des modèles agronomiques sensibles à la variabilité spatiale de ces éléments. L'approche pourrait ainsi permettre de mieux appréhender l'incidence de la qualité de la répartition de l'azote dans la compétition plante/adventice pour la nutrition azotée.

Par ailleurs, le distributeur centrifuge virtuel s'avère être un très bon outil pédagogique. Il est d'ores et déjà utilisé dans le cadre des enseignements en dominante « Sciences et Techniques des Equipements Agricoles » de la formation d'ingénieur d'AgroSup Dijon.

EN 13739-2, 2011. Agricultural machinery - Solid fertilizer broadcasters and full width distributors - Environmental protection - Part 2: Test methods. European Committee for Standardisation.

Piron E, Miclet D, 2005. Centrifugal fertiliser spreaders: a new method for their evaluation and testing. The International Fertiliser Society, Proceedings 556.

Villette S, Piron E, Cointaut F, Chopinet B, 2008. Centrifugal spreading of fertiliser: Deducing three-dimensional velocities from horizontal outlet angles using computer vision. Biosystems Engineering. 99, 496-507.

Villette S, Piron E, Martin R, Miclet D, Jones G, Paoli JN, Gée C, 2013. Estimation of two-dimensional fertiliser mass flow distributions by recording granule impacts, Biosystems Engineering, 115, 463-473.