

PRÉSENTATION DE THÈSE

MODÉLISATION, OPTIMISATION ET CONTRÔLE D'UN PROCESSUS D'ÉPANDAGE POUR LES APPLICATIONS AGRICOLES

par Teddy **Virin**¹

Jean-Bernard Montalescot². – Teddy **Virin** a réalisé des études brillantes³, et a produit des développements scientifiques importants lors de sa thèse, dans la cadre d'une application originale aux agroéquipements.

Dans un contexte général de prise de conscience des impacts environnementaux négatifs des pratiques humaines, l'agriculture est bien entendu concernée, en particulier avec le besoin actuel d'une agriculture écologiquement intensive et durable. Les épandages d'engrais, qu'ils soient minéraux ou organiques, sont des opérations bien évidemment très mécanisées, pour lesquelles les agroéquipements développés sont de plus en plus complexes et performants, utilisant toujours plus les potentialités permises par l'électronique et l'informatique embarquées.

C'est ainsi que, progressivement, les appareils d'épandage se sont trouvés dotés de dispositifs d'ajustement du débit massique en fonction de la vitesse de travail réelle (DPA), puis de dispositifs permettant de contrôler la justesse du débit massique par rapport à l'attendu (pesée intégrée par exemple), enfin de procédés d'ajustement de la dose apportée par la machine au besoin réel de la culture (modulation intra-parcellaire des doses). En parallèle, les systèmes d'épandage ont progressé en eux-mêmes (disques d'épandage, formes des pales...) pour permettre une adaptabilité aux contextes parcellaires, en particulier pour la fertilisation des bordures de champ. Ainsi, dans un contexte d'augmentation des performances de largeur de travail des appareils (course au rendement de chantier), potentiellement nuisible à la qualité de répartition produite par les épandeurs (avec ses impacts agronomiques, économiques et environnementaux), les constructeurs ont développé les briques unitaires nécessaires à l'obtention d'une fertilisation responsable. Les résultats d'épandage sont ainsi très bons si on analyse globalement à la parcelle la dose apportée.

Si l'on regarde plus en détail les hétérogénéités de doses d'engrais distribuées au sein même des parcelles, il apparaît par contre d'autant plus de sur-et de sous-dosages localisés qu'elles présentent de singularités de géométrie parcellaires. Ces défauts proviennent de l'absence de prise en compte d'un paramètre décisif à l'obtention d'une bonne répartition, et qui présente une variabilité quasi-constante lors de l'opération d'épandage au champ : la distance entre les différents passages successifs de l'épandeur. Ceci engendre une inadéquation quasi-généralisée de la largeur optimale de travail de l'appareil à la distance de passage, et donc une inadéquation à la fois de débit massique distribué et de forme de courbe d'épandage, générant les défauts importants de dosage (de 0 à 200% de la dose ciblée). Si les causes sont relativement faciles à identifier, les réponses à apporter le sont beaucoup moins, expliquant l'absence généralisée de propositions sur ce sujet.

¹ Ingénieur de l'entreprise MICHELIN. Mémoire de proposition pour la médaille d'argent de l'Académie, pour son mémoire de thèse, réalisé au CEMAGREF et soutenu le 2 mars 2007 à l'Université Blaise Pascal de Clermont Ferrand

² Membre de l'Académie d'Agriculture, conseiller technologique du SITEVI, délégué à la valorisation économique au CEMAGREF, BP 44, parc de Tourvoie, F 92163 Antony, France.

Teddy **Virin** a su développer les algorithmes mathématiques permettant de lever les verrous scientifiques concernant cette problématique. L'enjeu n'était en effet pas de résoudre un problème de contrôle commande, mais bien (i) de jeter les bases d'une modélisation du phénomène d'épandage à la parcelle (prise en compte de la réalité spatiale de la distribution d'engrais réalisée au sol par l'appareil, sous la forme d'un produit de deux Gaussiennes de distributions pondéré par le débit massique), et surtout (ii) de proposer un ensemble de méthodes de résolution mathématique permettant d'optimiser en chaque position de l'épandeur dans la parcelle les paramètres de répartition de l'engrais de telle manière à minimiser l'écart dose attendue / dose réellement obtenue. Teddy **Virin** a dû tenir compte de différentes contraintes lors de la mise en œuvre de ces algorithmes d'optimisation. Citons par exemple la continuelle modification des "conditions initiales" d'optimisation en chaque nouveau point GPS de positionnement géographique de l'épandeur, rendant le recours à des algorithmes classiques itératifs inadéquat, ou encore la nécessité de prise en compte des différences radicales de distribution entre l'épandage en bordure de parcelle et en plein champ.

Après avoir formalisé mathématiquement la fonction objectif à minimiser, Teddy **Virin** a su tenir compte des contraintes mécaniques réelles d'un distributeur d'engrais en incorporant des contraintes de bornes sur les variables de décision, et a ensuite dû recourir à une décomposition du domaine global en sous-domaines, étant soumis à un problème de grande taille. Il a ensuite associé une méthode d'optimisation LBFGS à un algorithme du Lagrangien augmenté, afin d'obtenir une optimisation très poussée des paramètres d'épandage en plein champ. En ce qui concerne l'épandage en bordures de parcelle, il a dû avoir recours à la modélisation des pratiques réelles actuelles d'épandage (avec ses limites), pour les ajouter au modèle et satisfaire les objectifs.

En fin de thèse, il a exploré une autre voie de résolution du problème par une méthode reposant sur la commande optimale, en montrant qu'elle permettrait aussi une optimisation intéressante, sans toutefois avoir pu la mettre en œuvre sur une parcelle réelle.

L'application des algorithmes de résolution mathématique à des cas de parcelles réels, montre de réels gains, non sur la quantité globale d'engrais apportée (déjà correcte auparavant), mais sur la répartition de cette quantité globale d'engrais dans les différentes "mailles" de la parcelle. Ainsi, la stratégie d'optimisation permet d'autant plus de gains que la parcelle présente de singularités parcellaires, ou qu'elle est de petite taille. En effet, la proportion de surface parcellaire correctement dosée peut passer de 50% seulement sans stratégie d'optimisation, à plus de 90% si l'on applique l'optimisation. La solution est d'autant plus intéressante et valide qu'elle permet d'atteindre cette proportion de 90% de surface correctement dosée quelles que soient les conditions géométriques.

Cette technologie permet ainsi de développer des "distributeurs d'engrais intelligents", capables de s'auto-ajuster en continu, et est conforme au concept d'écotechnologie visant une adaptation des machines à leur environnement naturel, et non l'inverse. La communauté l'a reconnue comme telle puisqu'un distributeur d'engrais, utilisant ces développements scientifiques, a été reconnu par la médaille d'or au palmarès de l'innovation du dernier SIMA 2007, et que, parmi les différentes publications et communications à congrès, Teddy **Virin** a reçu au meeting "CONTROLO 2006" le premier prix de "*Best Industrial Paper Award*".