

Tolérance d'une culture de froment à l'égard de l'hétérogénéité d'épandage des engrais azotés

Serge Tissot, Gautier Quenon, Olivier Miserque

Département Génie rural. Centre de Recherches agronomiques. Chaussée de Namur, 146. B-5030 Gembloux (Belgique).

Reçu le 27 janvier 1999, accepté le 5 juillet 1999.

L'homogénéité de l'application des engrais dépend principalement de la régularité de la distribution transversale. Au cours des dernières années, le Département Génie rural à Gembloux (Belgique) a testé plus de 300 distributeurs dans des exploitations agricoles. Les résultats montrent de grandes différences entre machines (CV entre 5 % et plus de 50 %). La réussite de l'épandage est liée aux caractéristiques du distributeur, aux propriétés de l'engrais et à l'habileté de l'utilisateur. Le rendement d'une culture est directement fonction de l'engrais disponible pour la plante. Dans le cas du froment, l'azote est particulièrement important. En utilisant les résultats des tests d'épandage dans les fermes, une simulation des rendements en froment a été établie en fonction de l'importance des erreurs typiques de distribution. Ainsi, il est possible d'évaluer un niveau d'hétérogénéité d'application acceptable pour la culture.

Mots-clés. *Triticum aestivum*, blé d'hiver, engrais azoté, méthode d'application, rendement, simulation.

Tolerance of wheat crop towards the spreading heterogeneity of nitrogen manure. The homogeneity of fertilizer application depends mainly on the regularity of transversal distribution. During the last few years, we have tested more than 300 distributors on farms. Results show big differences between the machines (CV between 5% and more than 50%). The result is linked to distributor features, fertilizer characteristics and user skills. Moreover, crop yield is a function of fertilizer availability for plants. In the case of wheat, nitrogen is particularly important. Using farm application data, a simulation of wheat yield is built in relation with an increase of typical distribution mistakes. Thus, it is possible to assess an acceptable level of heterogeneity for the crop.

Keywords. *Triticum aestivum*, winter wheat, fertilizers, application methods, yields, simulation.

1. INTRODUCTION

Pour assurer une valorisation optimale d'une fumure, chaque point d'une parcelle homogène doit recevoir la même quantité d'engrais. Les objectifs de l'analyse ci-après, sont de simuler les conséquences de différents niveaux et types d'erreurs d'épandage sur les rendements culturaux. Les sous-dosages localisés limitent la production par déficit en éléments fertilisants. Les surdosages peuvent être néfastes aux cultures et entraînent des verses. Ils représentent aussi un danger pour les nappes phréatiques.

L'analyse est basée sur des simulations de réponse agronomique aux différentes conditions d'épandage. Cependant, il faut être conscient que chaque situation culturelle est un cas particulier en fonction :

- du type de sol, de son drainage et de son historique ;
- de la fumure et de son fractionnement ;
- des conditions climatiques ;
- des techniques culturales ;
- du type et de la variété de la plante cultivée, etc.

Néanmoins, il est possible de prévoir la tendance moyenne de l'influence de la répartition des engrais sur le rendement cultural. Trois situations culturelles ont été choisies de manière à représenter un large éventail de possibilités. Le terrain est considéré comme homogène.

Seule la fumure azotée sur une culture de froment d'hiver a été étudiée. En effet, il est très compliqué de mettre en évidence l'importance d'autres éléments fertilisants tels que le phosphore et le potassium. Le choix du froment est justifié par la bonne connaissance de sa phytotechnie et par son importance dans l'agriculture belge.

2. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans la littérature, il existe plusieurs façons de représenter la répartition des engrais au sol suite à un épandage par distributeur centrifuge : les modèles balistiques (Mennel, Reece, 1963 ; Hofstee, Huisman, 1990), les modèles plans (Pitt *et al.*, 1982), ou encore

les modèles spatiaux (Pettersen *et al.*, 1991 ; Olieslagers *et al.*, 1996]. Ces modèles restent très théoriques et ne décrivent que les cas étudiés. Dans le cadre de cette étude, il est préférable de choisir des données de terrain mesurées suivant la norme ISO 5690/1 (1985) pour intégrer la diversité des situations rencontrées en pratique et entre autres les principales erreurs d'épandage.

Le rendement de la culture est simulé sur base d'observations en parcelles d'essai. Certaines publications présentent des courbes de rendement caractéristiques des centres de recherches concernés. Pour notre étude, des courbes obtenues à Gembloux ont été choisies de manière à représenter différentes conditions de culture en région céréalière. Une des courbes a une forme similaire à celle utilisée par Sogaard et Kierkegaard (1994).

Parish *et al.* (1987) ont fait état de manière indirecte de l'influence de la fumure en testant différents systèmes de mesure de la régularité d'épandage. La relation linéaire qu'ils ont décrite entre le rendement observé de la culture et la dose d'azote s'applique uniquement au cas étudié. Bergström (1987) signale également l'importance de l'homogénéité d'épandage sur le rendement dans une étude de la répartition spatiale des engrais sur un terrain hétérogène.

Ziani et Rousselet (1990a) ont démontré l'intérêt d'une bonne répartition sur champ. Les rendements observés d'une culture d'orge d'hiver sont inversement proportionnels aux coefficients de variation des courbes d'épandage. La verse en bandes longitudinales est également fonction des irrégularités d'épandage de la fumure azotée. L'intensité de la verse est fonction des doses maximales délivrées localement. Il faut cependant noter que les résultats ne tiennent pas uniquement compte de l'hétérogénéité d'épandage. En effet, les auteurs ont fait varier la largeur de travail de 16 à 28 m sans adapter le débit.

Sogaard et Kierkegaard (1994) ont estimé les pertes culturales et financières dues à une mauvaise application des engrais sur base d'un modèle statistique de répartition. Ce modèle est purement théorique et ne tient compte ni de la localisation, ni de l'importance des excès et des déficits en fonction du type d'erreur d'épandage. La courbe de rendement de la culture retenue ne représente qu'une situation idéale de réponse à la fumure. Les doses d'engrais et les rendements ne sont pas représentatifs de la situation en Belgique.

Aucune étude n'a été menée sur l'influence du type d'erreur d'épandage sur le rendement de la culture. La marge d'erreur acceptée pour les essais de distributeurs d'engrais reste empirique et varie d'un centre d'essai à l'autre (CV : 8 %, 10 % voire 12 % ou 15 %). Depuis 1991, le Département Génie rural à

Gembloux (Belgique) a réalisé plus de 300 essais dans les fermes. À l'image d'autres pays (Steevens, 1987 ; Ziani, Rousselet, 1990b ; TEAGASC, 1993), la situation est assez mauvaise dans l'ensemble. La moyenne du coefficient de variation est d'environ 25 % lors des tests avec les réglages de l'utilisateur. Après intervention de l'équipe de contrôle et souvent par simple rectification des réglages, il a été possible de réduire le coefficient de variation de plus de 10 % (**Figure 1**). Nul ne sait où se situe la tolérance des cultures face à ces erreurs résiduelles d'épandage.

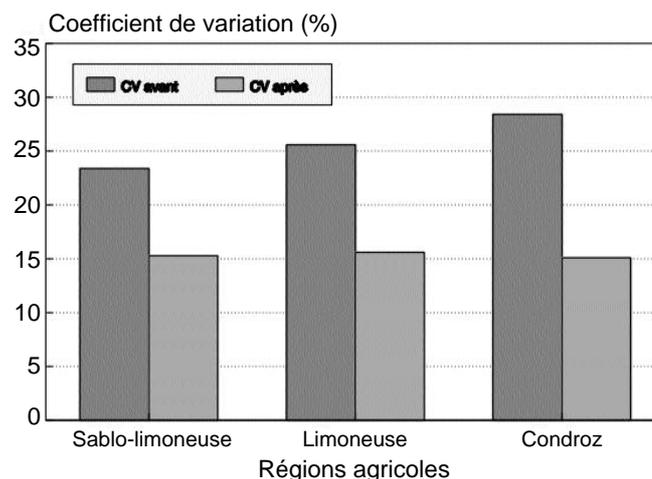


Figure 1. Coefficients de variation moyens mesurés par région agricole en Belgique, avant et après modification des réglages lors des essais — *Average coefficients of variation measured by agricultural region in Belgium, before and after modification of the adjustment during tests.*

3. PRINCIPE DE LA SIMULATION

L'objectif de notre simulation est d'analyser l'influence de l'hétérogénéité de répartition des engrais sur les rendements en fonction du type d'erreur d'épandage et de rechercher un seuil de tolérance acceptable pour les cultures. L'étude ne tient pas compte des phénomènes de verse, ni de la qualité des céréales, ni de la migration horizontale des éléments fertilisants.

Les données utilisées pour la réponse à la fumure azotée sont issues d'essais sur des parcelles expérimentales. Les opérations culturales telles que la fertilisation et la récolte ont été réalisées avec le plus grand soin. Les écarts de rendement ainsi calculés représentent les gains minima escomptés. Dans la pratique, vu que l'on enregistre des pertes supérieures lors de la récolte des parcelles versées, les gains sont souvent à majorer suivant les conditions locales (sol, pluviométrie, orage, etc.).

L'hétérogénéité spatiale des apports azotés a aussi un effet néfaste sur la qualité. L'optimum est souvent rencontré au niveau de fumure proche de celui conseillé pour obtenir le meilleur rendement financier (Anonyme, 1994 ; Carlotti, 1992 ; Sinnaeve *et al.*, 1994). Vu le manque de référence chiffrée dans ce domaine, ce paramètre a été écarté tout en lui reconnaissant un effet multiplicateur sur nos résultats.

Les défauts d'épandage sont considérés comme identiques lors de chaque application et la réponse de la culture à la fumure suit en moyenne les courbes retenues (**Figure 2**). Pour analyser un large spectre de conditions culturales, trois situations typiques ont été retenues.

– Cas 1 : on observe une bonne réponse à la fumure azotée et un optimum de rendement pour 150 unités d'azote par hectare apportées en trois fractions de 50 unités.

– Cas 2 : la culture réagit peu à la fumure azotée et la fumure conseillée est inférieure aux trois apports de 50 unités d'azote.

– Cas 3 : l'optimum de fumure se situe au-delà des trois apports de 50 unités d'azote.

Les courbes présentées à la **figure 2** sont issues de régressions obtenues à partir de données culturales observées dans la région limoneuse respectivement en 1992 (cas 1), 1991 (cas 2) et 1993 (cas 3) dans des parcelles différentes. Leurs coefficients de variation résiduels sont respectivement de 6,1, 3,4, et 5,9 % et les coefficients de détermination de 0,67, 0,55 et 0,80. Les calculs ont été réalisés à la Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux en collaboration avec le Bureau d'Informatique et de Statistiques appliquées du Centre de Recherches agronomiques.

Les courbes ont été choisies de manière à représenter une large gamme de situations culturales.

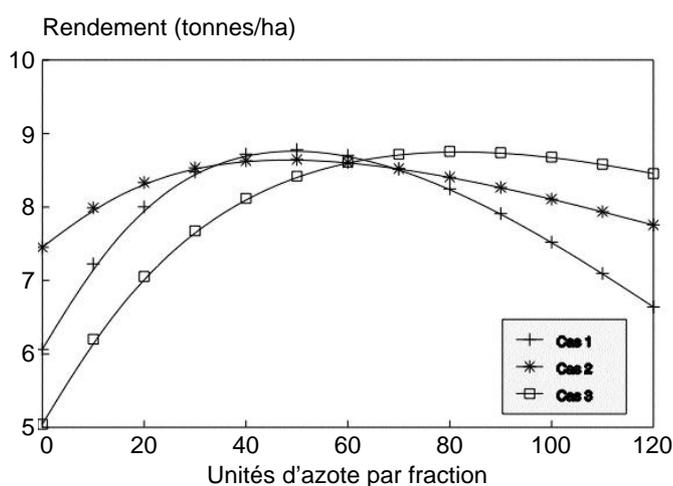


Figure 2. Rendement de la culture en fonction de la fumure azotée — *Crop yield according to the nitrogen manure.*

Il est évident que chaque parcelle a un comportement propre dépendant de nombreux paramètres liés au sol, au climat, aux techniques culturales, à la plante, etc. Néanmoins, le spectre étudié est assez représentatif de situations rencontrées dans la région de Gembloux.

Pour représenter l'épandage, des courbes de répartition mesurées lors d'essais de distributeurs d'engrais centrifuges dans des fermes, pour une largeur de travail de 24 m, ont été choisies en fonction des défauts observés et de la valeur du coefficient de variation (**Tableau 1, Figure 3**). Les erreurs d'épandage prises en considération sont :

- largeur de travail trop importante ;
- largeur de travail insuffisante ;
- pic central (trop d'engrais dans l'axe d'avancement) ;
- effet couronne (trop d'engrais à une distance de quelques mètres de part et d'autre de l'axe d'avancement).

Ce choix correspond aux principaux défauts observés en pratique. Ils proviennent tous d'un mauvais réglage et non d'un dysfonctionnement de l'appareil.

À chaque point de mesure sur la courbe de répartition, le programme de calcul fait correspondre une dose théorique d'azote de manière à obtenir trois apports de 50 unités par hectare de dose moyenne. En chaque point de la parcelle, un rendement théorique est ensuite calculé sur base des courbes de rendement de la **figure 2**. L'ensemble de ces rendements ponctuels permet le calcul d'un rendement moyen.

4. RÉSULTATS

Chaque modèle d'épandage combiné à chaque situation culturale a fait l'objet d'une simulation de rendement. À titre d'exemple, la courbe SO 11 dans la

Tableau 1. Courbes de répartition des engrais choisies pour la simulation — *Fertilizer distribution, patterns selected for the simulation.*

Qualité du travail	Défauts observés			
	trop large	trop court	pic central	couronne
Excellent			SO11 CV=8	
Bon à satisfaisant	M21 CV=14	M41 CV=16	M139 CV=13	DK54 CV=17
Mauvais	M130 CV=25	M39 CV=22	M137 CV=25	DK44 CV=23
Très mauvais	M143 CV=38	W2 CV=40	JA12 CV=45	M132 CV=51

CV = coefficient de variation (%).

SOx, Mx, DKx, JAx, Wx = numéro d'essai.

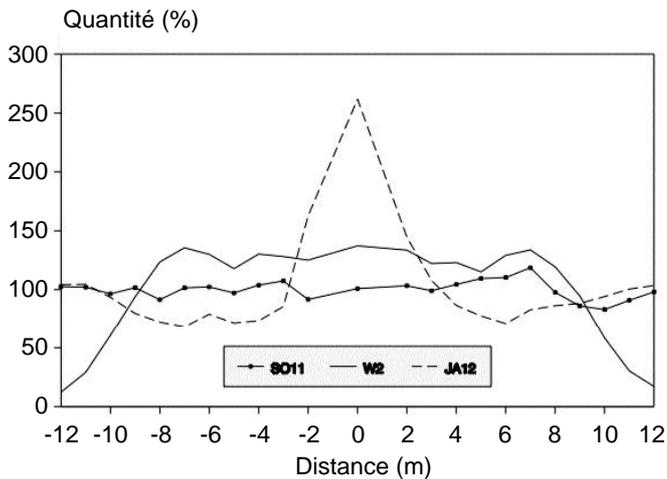


Figure 3. Exemples de courbe de répartition des engrais — *Examples of fertilizer distribution pattern.*

situation culturale 1 procure un rendement moyen de 8810 kg/ha (**Figure 4**). La courbe d'épandage SO11 est la plus régulière. On peut remarquer qu'elle permet d'obtenir un rendement régulier sur toute la largeur de travail. Par contre, les courbes M137 et M132 qui représentent respectivement un pic central et un effet couronne, engendrent des pertes de rendement localisées.

5. ANALYSE DES RÉSULTATS

Pour tous les modèles de réponse à la fumure et pour tous les défauts observés, une chute importante de rendement se produit lorsque l'on dépasse une valeur de coefficient de variation de 20 % pour la courbe d'épandage (**Figure 5**). Le gain de rendement pour un bon épandage ($CV = 10\%$) par rapport à un mauvais épandage ($CV = 30\%$) est de l'ordre de 200 kg/ha dans la situation culturale 1, de 100 kg/ha dans la situation 2 et intermédiaire dans la situation 3.

On ne peut pas distinguer de différences importantes entre les défauts observés pour un épandage correct mais, lors d'un épandage approximatif, une largeur de travail trop faible et l'effet couronne semblent les plus néfastes.

Le même type de simulation peut être effectuée sur les reliquats présents dans le sol après cultures. Dans ce cas également, on observe que la valeur limite du coefficient de variation est de 20 %. Par contre, une largeur de travail insuffisante est moins préjudiciable pour l'environnement (Tissot, 1995).

L'achat d'un appareil performant en lieu et place d'un appareil défectueux peut s'avérer très rentable à terme. De plus, le prix d'achat de l'appareil est négligeable par rapport au coût de l'engrais qui va être épandu par le distributeur. Si l'on considère des frais

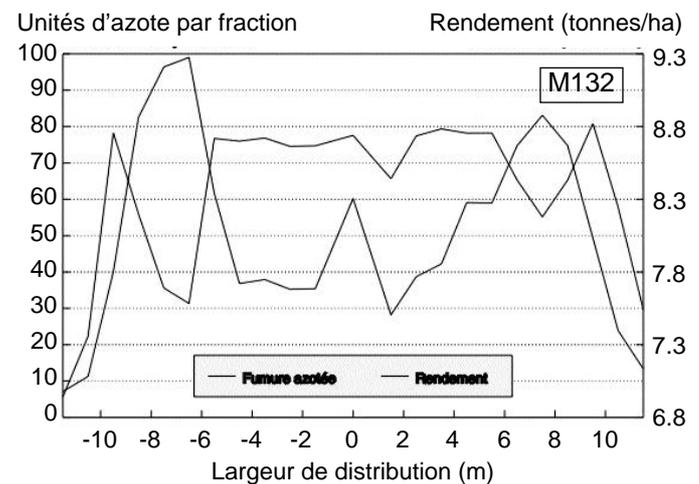
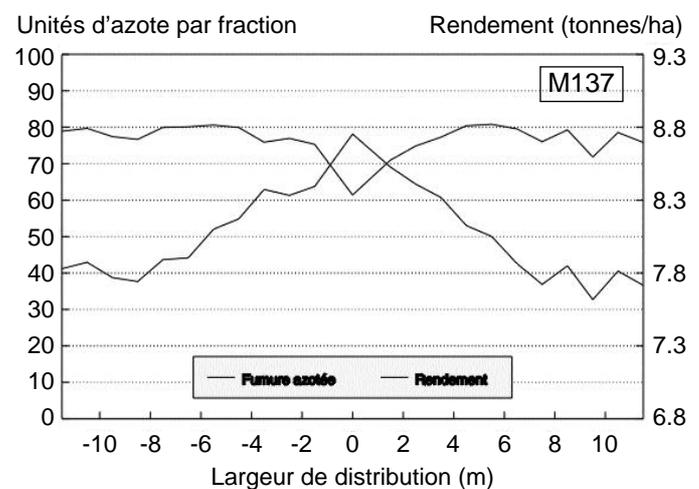
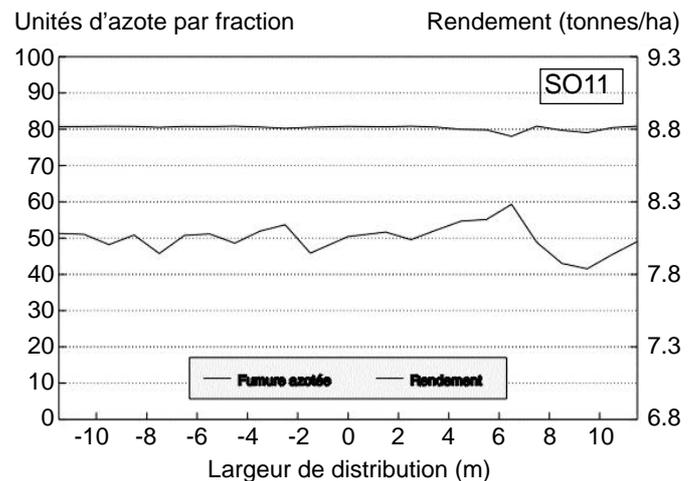


Figure 4. Rendement de la culture en fonction de la courbe de répartition de l'engrais pour une culture répondant bien à 150 unités d'azote/ha en 3 fractions (cas 1) — *Crop yield according to the fertilizer distribution pattern for a crop with a good response to 150 nitrogen units per ha, in 3 fractions (case 1)*

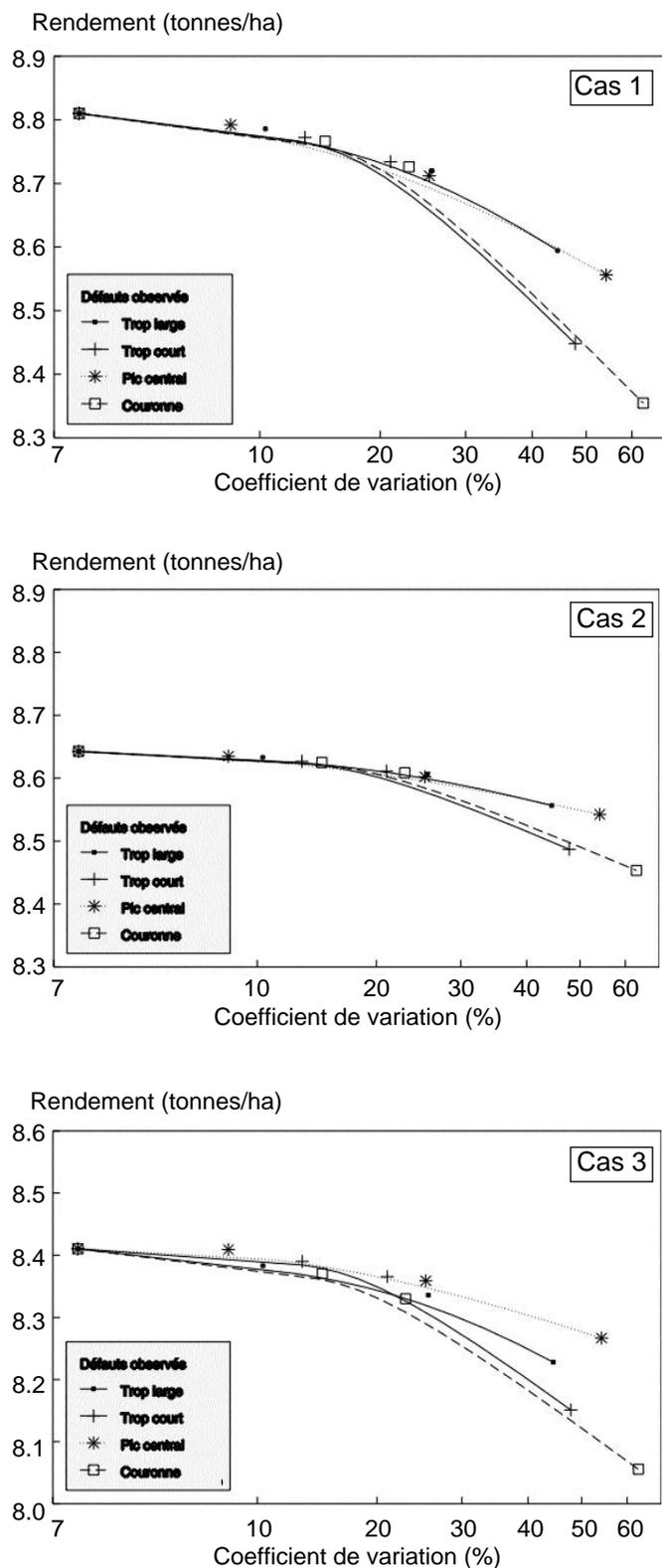


Figure 5. Rendement de la culture en fonction du coefficient de variation de la courbe de répartition de l'engrais pour les cas 1, 2 et 3 — *Crop yield according to the coefficient of variation of the fertilizer distribution pattern for cases 1, 2 and 3.*

moyens de fertilisation de 6 000 BEF (149 Euro) par ha et une durée d'amortissement de l'appareil égale à 10 ans, le prix d'achat de ce dernier ne représente que 3 à 4 % du coût de l'engrais pour une ferme de 100 ha.

6. CONCLUSIONS

Le distributeur d'engrais a été trop longtemps négligé dans les fermes. L'agriculture moderne exige un distributeur précis pour mieux valoriser les engrais. Dans beaucoup de situations, le remplacement des appareils usagés par d'autres plus performants peut être très rentable pour les cultures et plus sûr pour la protection de l'environnement.

Notre simulation a montré que le rendement d'une culture de froment est peu affecté par une légère erreur d'épandage. Un coefficient de variation de 20 % semble être la limite acceptable au niveau de la courbe de répartition des engrais. Cette tolérance a pu être satisfaite lors de nos essais de distributeurs dans les fermes après rectification des réglages. Par conséquent, la technique proposée par les constructeurs est suffisante dans les conditions de travail actuelles dans la mesure où l'on règle correctement les machines. Néanmoins, un travail de vulgarisation et de formation doit être entrepris dans les fermes pour améliorer la situation.

Les erreurs les plus néfastes sur le rendement sont une largeur de travail insuffisante et un effet couronne. Ces dernières sont caractéristiques d'un appareil dont la largeur de projection est trop faible et donc inadaptée à la largeur de travail souhaitée.

Remerciements

Nous remercions le Professeur A. Falisse de la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux et Monsieur R. Oger, Chef de section au Centre de Recherches agronomiques de Gembloux, qui ont guidé nos travaux de recherche sur les engrais.

Bibliographie

- ANONYME (1994). Froment. *In Fumure et protection phytosanitaire des céréales*. Gembloux, Belgique : Faculté des Sciences agronomiques et Centre de Recherches agronomiques, p. 1-47.
- Bergström T. (1987). Konstgödselspridningens kvalitetsaspekt. En studie av sambandet mellan variationer i gödsel intensitet och medelavkastningen vid kvävegödsling av vete - metoder och modeller. *In Svensson J. Distribution of granular fertilizers*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Science, p. 4-8.

- Carlotti B. (1992). *Recueil des bases de préconisations de la fertilisation azotée des cultures*. Mission Eau-Nitrates, Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement, France, 246 p.
- Hofstee JW., Huisman W. (1990). Handling and spreading of fertilizers. Part 1 : Physical properties of fertilizer in relation to particle motion. *J. Agric. Eng. Res.* **47**, p. 213–234.
- ISO (1985). *Norme ISO 5690/1 : Matériels de distribution des fertilisants – Méthodes d'essais – Partie 1 : distributeurs d'engrais en nappe*. Genève : Organisation Internationale de Normalisation, 14 p.
- Mennel RM., Reece AR. (1963). The theory of the centrifugal distributor III. Particle trajectories. *J. Agric. Eng. Res.* **8**, p. 78–84.
- Olieslagers R., Ramon H., De Baerdemacker J. (1996). Calculation of fertilizer distribution patterns from a spinning disc spreader by means of a simulation model. *J. Agric. Eng. Res.* **63**, p. 137–152.
- Parish RL., Chaney PP., Fuller DL. (1987). Comparison of laboratory methods of spreader pattern evaluation with agronomic response. *Appl. Eng. Agric.* **5** (2), p. 163–164.
- Pettersen JM., Svendsen JA., Ovland S. (1991). A method of studying the influence of fertilizer particle size on the distribution from a twin-disc spreader. *J. Agric. Eng. Res.* **50**, p. 291–303.
- Pitt RE., Farmer GS., Walker LP. (1982). Approximating equations for rotary distributor spread pattern. *Trans. ASAE* **25** (6), p. 1544–1552.
- Sinnaeve G., Herman JL., Couvreur L., Dardenne P., Vredos D. (1994). Situation qualitative de la production de froment en 1993. In *Fumure et protection phytosanitaire des céréales*. Gembloux, Belgique : Faculté des Sciences agronomiques et Centre de Recherches agronomiques, p. 7–16.
- Sogaard HT., Kierkegaard P. (1994). Yield reduction resulting from uneven fertilizer distribution. *Trans. ASAE* **36** (6), p. 1749–1752.
- Steevens JCA. (1987). Kunstmeststrooien in de praktijk. *Landbouwmecanisatie* **38**, p. 24–27.
- TEAGASC (1993). *Research report 1991–1992*. Carlow, Ireland: Agriculture and Food Development Authority, Agricultural Engineering Department, 29 p.
- Tissot S. (1995). *Analyse de l'homogénéité de la répartition transversale des engrais épandus par des distributeurs centrifuges*. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences agronomiques, Gembloux, Belgique, 306 p.
- Ziani S., Rousselet M. (1990a). Épandage des engrais et verse des céréales. In *BTMEA 45*. Antony, France : Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts, p. 28–38.
- Ziani S., Rousselet M. (1990b). Qualité de l'épandage des engrais. Enquête auprès des agriculteurs du Val d'Allier. In *BTMEA 48*. Antony, France : Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts, p. 9–17.

(17 réf.)