

**Méthodes de mesure de la précision
d'application des intrants en agriculture**

Programme d'appui scientifique
à la normalisation

volet II

Rapport final

Services fédéraux des
AFFAIRES SCIENTIFIQUES,
TECHNIQUES ET CULTURELLES

SERVICES DU PREMIER MINISTRE
SERVICES FÉDÉRAUX DES AFFAIRES SCIENTIFIQUES, TECHNIQUES ET
CULTURELLES

*Programme d'appui scientifique à
la Normalisation*

**METHODES DE MESURE DE LA PRECISION
D'APPLICATION DES INTRANTS EN
AGRICULTURE**

Rapport final

Contrat de recherche N° NO/B3/008

Juillet 1998

MINISTÈRE DES CLASSES MOYENNES ET
DE L'AGRICULTURE
Administration de la Recherche Agronomique



Centre de Recherches agronomiques
DEPARTEMENT GENIE RURAL

Cheminée de l'Est, 145
B-5030 GEMBLOUX

Téléphone 32-(0)81-61 25 91
Téléfax 32-(0)81-61 58 47
E-mail : qucaom@crags.fgov.be

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	3
Méthodologie	5
1. L'application des pesticides	5
Le contrôle obligatoire des pulvérisateurs - Historique - Technique de contrôle ..	5
Méthodologie de travail dans le cadre du projet	7
2. Distributeurs d'engrais	8
Principe de la méthodologie de mesure de la régularité d'épandage	8
Méthodologie de travail dans le cadre du projet	9
Résultats	11
1. Application des pesticides	11
Etude des modalités d'agrément du matériel neuf	11
Comparaison scientifique des méthodes de contrôle des pulvérisateurs en	
fonctionnement	15
Définition d'une méthode de contrôle simplifiée	20
2. Distributeurs d'engrais	21
Mise au point de la technique de contrôle	21
Caractéristiques des engrais	26
3. Journée d'information et de sensibilisation	29
4. Aspects méthodologiques généraux	30
Conclusions et recommandations	32
1. Application des pesticides	32
Etude des modalités d'agrément du matériel neuf	32
Comparaison scientifique des méthodes de contrôle des pulvérisateurs en	
fonctionnement	33
Définition d'une méthode simplifiée	34
2. Distributeurs d'engrais	35
Mise au point de la technique de contrôle	35
Caractéristiques des engrais	36
3. Journées d'information et de sensibilisation	37

Synthèse de la recherche	38
Méthodologie et résultats	39
1. Application des pesticides	39
2. Distributeurs d'engrais	41
Conclusions et recommandations	42
1. Application des pesticides	42
2. Distributeurs d'engrais	43
 ANNEXES	 44

INTRODUCTION

Le programme d'appui scientifique à la normalisation visait à stimuler l'activité de normalisation en Belgique et à montrer l'intérêt de la normalisation comme facteur, entre autres, de sécurité et de qualité pour les utilisateurs-consommateurs. La mise en oeuvre de projets pilotes devait permettre de renforcer dans certains domaines le processus de normalisation, notamment par la valorisation de solutions dégagées en R&D, aboutissant à la définition et l'application de normes.

Notre projet, qui visait à développer et à valider des méthodes de mesure de la précision d'application des intrants en agriculture, s'inscrivait pleinement dans ce cadre et les objectifs atteints contribuent directement à sécuriser l'épandage d'intrants par un contrôle, et du matériel neuf, et du matériel en fonctionnement.

Il est à noter qu'au niveau européen, l'élaboration de normes CEN est en cours, en ce qui concerne le matériel d'application des intrants. Ces normes sont destinées, essentiellement, à l'agrément d'appareil neuf, au niveau sécurité de l'utilisateur et protection de l'environnement. Différents pays étudient la possibilité de mettre en place un système national de contrôle du matériel neuf et du matériel en utilisation. De même, divers centres de recherches (Cemagref en France, Danish Institute of Agricultural Sciences, ...) ont des thèmes d'étude semblables. Notre action s'inscrit donc dans une dynamique qui existe dans différents pays européens, mais s'en démarque par différents aspects tels la globalisation du problème (appareil neuf, appareil en fonctionnement), l'élaboration de méthode de contrôle destinées directement aux utilisateurs. ... Le Département participe activement aux travaux des différentes commissions qui traitent des sujets qui occupent notre projet.

Nos objectifs portaient sur deux aspects de l'application des intrants en agriculture : l'application des produits phytosanitaires et la fertilisation des cultures. Le premier domaine s'inscrivait dans la continuité des actions du Département Génie rural dans le domaine. En effet, étant chargé de la gestion et de la réalisation du contrôle obligatoire des pulvérisateurs en fonctionnement, notre action s'est concentrée sur trois points connexes :

l'étude des modalités d'agrément du matériel neuf, avec comme objectif de faciliter l'agrément du matériel neuf en proposant une procédure et des méthodes d'agrément efficaces, précises et éprouvées aux différents acteurs de ce secteur (pouvoirs publics et constructeurs et/ou importateurs)

la comparaison scientifique des méthodes de contrôle des pulvérisateurs en fonctionnement, avec comme objectif de faciliter l'uniformisation des méthodes et/ou permettre d'identifier les paramètres d'équivalences

la définition d'une méthode de contrôle simplifiée, avec comme objectif de fournir des moyens efficaces et abordables d'autocontrôle aux utilisateurs et aux professionnels.

Quant au deuxième domaine, le Département possédait déjà une grande expérience dans le domaine; cependant, il fallait finaliser deux aspects :

la mise au point d'une technique de contrôle, avec comme objectif de disposer d'une technique de contrôle reconnue pour les essais en ferme, dans des conditions d'épandage typiques de la Belgique (type d'engrais, doses, etc)

les caractéristiques des engrais, avec comme objectif de définir des normes minimales de qualité des engrais permettant d'orienter le choix des agriculteurs et de limiter l'usage de produits médiocres à des tâches définies (épandage en nappe ou localisés, etc).

Afin de diffuser les informations obtenues dans le cadre de ce projet, des journées de sensibilisation et d'information étaient prévues. Différents publics ciblés ont pu ainsi être sensibilisés à la problématique de la précision d'application des intrants en agriculture.

Ce rapport final va exposer les différentes investigations qui ont été réalisées dans ces deux domaines de l'application des intrants. Il commencera par une description des techniques de contrôle utilisées et des études qui ont été réalisées pour atteindre les objectifs fixés. Pour chacun d'eux, les résultats obtenus seront présentés en détaillant les méthodes de collecte, de traitement, et les lacunes éventuelles mise à jour. Ensuite, nous exposerons les conclusions concernant les recherches menées, tout en indiquant diverses recommandations. Enfin, une brève synthèse de l'ensemble de la recherche sera proposée, dans un but de vulgarisation éventuelle.

MÉTHODOLOGIE

1. L'application des pesticides

Depuis 1995, le Département Génie rural est chargé de gérer le contrôle obligatoire des pulvérisateurs en Belgique. La méthode de contrôle, différente des méthodes habituelles mais adaptée à la fonction (mobilité, rapidité, fiabilité), a été développée au préalable par le Département. C'est donc cette méthode qui a servi de point de départ à notre projet.

Le contrôle obligatoire des pulvérisateurs - Historique - Technique de contrôle

Selon sa note politique approuvée en juillet 1993 par le Gouvernement, le Ministre de l'Agriculture a instauré un contrôle obligatoire des pulvérisateurs. Cette mesure s'est concrétisée par des Arrêtés Ministériels parus au Moniteur Belge (Arrêtés Ministériels du 09 juin 1995, 22 décembre 1995, 18 juin 1996 - Moniteur Belge du 12 août 1995, 06 février 1996, 15 août 1996). Les dispositions prises en Belgique sont dans la logique européenne en matière de protection de l'Environnement. Les modalités d'application ont été choisies sur base de critères instructifs plutôt que répressifs.

La procédure de contrôle a des conséquences importantes sur la réalisation ou non des objectifs fixés. La première étape était donc le choix d'une méthode adaptée au contrôle sur le terrain. La procédure qui a été retenue est différente de celle pratiquée dans beaucoup de pays où le banc répartiteur est utilisé.

Description de la méthode de contrôle

La procédure de contrôle décrite ci-après a été choisie par le Ministère de l'Agriculture dans le cadre du contrôle obligatoire des pulvérisateurs à rampe et est utilisée pour toute la Belgique. Elle réalise un bon équilibre entre l'importance des paramètres contrôlés, le caractère explicatif de la procédure et le coût du contrôle. L'objectif est d'améliorer l'état du parc des pulvérisateurs en sensibilisant les utilisateurs au fonctionnement de leur appareil et, non pas simplement en les pénalisant.

Plusieurs appréciations sont réalisées quand le pulvérisateur n'est pas en fonctionnement; la plupart sont visuelles. Lorsque l'appareil pulvérise, les observations font généralement l'objet d'une mesure. Les limites de tolérance pour les paramètres mesurés se basent sur des écarts de quantité épandue par rapport à une valeur de référence.

- Etat général du pulvérisateur : état d'entretien, présence de protections des organes en mouvement (cardan, chaîne), état de la jauge, présence de filtres, rampe (courbure dans les plans horizontal et vertical, suspension, écartement et position des porte-buses, articulations et extrémités), lisibilité du manomètre, présence d'obstacles dans le jet (tuyau, ...), système d'agitation.
- Stabilité de la pression : la pression de pulvérisation doit être stable. On positionne un manomètre étalon au niveau de la rampe en lieu et place d'une buse, afin d'observer les oscillations rapides de pression. Aucun battement de l'aiguille empêchant la lecture de la pression n'est accepté.
- Manomètre : on positionne un manomètre étalon au niveau de la rampe, en lieu et place d'une buse. La concordance des valeurs de pression indiquées par le manomètre de travail avec celles réellement présentes au niveau des buses est vérifiée. Lorsque l'écart est important, le manomètre est démonté et l'origine de l'écart est identifiée à partir d'un contrôle supplémentaire avec un calibre indépendant.
- Equilibre hydraulique entre les sections de rampe : on positionne un manomètre étalon en lieu et place d'une buse à chaque segment de rampe, au niveau de l'alimentation. Toutes les conduites de la rampe sont mises en service à une pression de 3 bars et les éventuels écarts de pression par rapport à la valeur moyenne sont observés entre les tronçons.
- Retours compensatoires : lorsqu'ils sont présents, les retours compensatoires doivent fonctionner. On positionne un manomètre étalon en lieu et place d'une buse à chaque segment de rampe et au niveau de l'alimentation. Les conduites de la rampe sont mises en service à une pression de 3 bars et chaque section de rampe est fermée successivement, la pression des tronçons restant alimentés ne doit pas se modifier.
- Perte de charge dans les sections de rampe : la mesure est réalisée uniquement si un risque de perte de charge existe. On positionne deux manomètres étalons en lieu et place d'une buse, l'un à proximité de l'alimentation du segment de rampe, l'autre à son extrémité. On relève les éventuels écarts de pression pour une pression à l'alimentation de 3 bars.
- Débit individuel des buses : cette mesure est réalisée indépendamment du pulvérisateur pour toutes les buses couramment utilisées sur l'appareil. Les buses sont démontées de la rampe et placées sur un banc de contrôle. Cette opération permet d'observer si toutes les buses d'un même lot ont des caractéristiques identiques (type, calibre et angle). La variation de débit par rapport à celui d'une buse neuve (référence) est quantifiée. Il existe 2 niveaux de rejet : écart entre le débit moyen du lot et le débit nominal ainsi que l'écart entre le débit individuel des buses et le débit nominal. Lorsque le débit de référence n'est pas disponible, la comparaison se fait par rapport au débit moyen calculé.

- Système de régulation : seuls les systèmes de régulation (électronique ou mécanique) à débit proportionnel à l'avancement (DPA) sont contrôlés. La vitesse de déplacement du pulvérisateur est mesurée et le volume pulvérisé durant cette période est récolté dans des récipients suspendus en dessous des buses. Le volume/hectare réellement épandu est calculé et comparé à celui que l'utilisateur a réglé.
- Fuites : les endroits où il y a des fuites sont identifiés.

Méthodologie de travail dans le cadre du projet

La partie application des pesticides vise trois objectifs. Pour chacun d'eux, un plan d'action a été établi.

Etudes des modalités d'agrément du matériel neuf

Comme les appareils en fonctionnement sont soumis à un contrôle obligatoire trisannuel, il était nécessaire d'établir, sur base des méthodes de contrôles utilisées, une procédure d'agrément des nouveaux pulvérisateurs agricoles et arboricoles devant être mis en vente en Belgique. La mise au point de cette procédure reprend l'établissement d'un cahier de charges techniques, la définition des méthodes de mesures de conformité, l'établissement des procès-verbaux d'agrément. Le travail a porté sur les appareils neufs ainsi que sur les buses neuves. Bien que la buse soit un organe de pulvérisation, son agrément doit se faire séparément de l'appareil, car une même marque de buse peut être montée sur plusieurs marques de pulvérisateurs.

Comparaison scientifique des méthodes de contrôle des pulvérisateurs en fonctionnement

La méthode officielle retenue pour le contrôle obligatoire des pulvérisateurs en Belgique, ainsi que son organisation pratique ont été développées par le Département Génie rural. Elles sont totalement différentes de celles pratiquées dans d'autres pays européens. L'étude a fait la comparaison entre les deux principes de contrôles, d'un point de vue technique et pratique.

Définition d'une méthode de contrôle simplifiée

L'utilisateur et le marchand-réparateur ayant peu de moyens pour vérifier le fonctionnement et le réglage du pulvérisateur, une procédure pratique et simplifiée était nécessaire. Celle-ci a été mise au point sur base d'un kit de contrôle.

2. Distributeurs d'engrais

La norme ISO 5690/1 (1985) relative aux essais de distributeurs d'engrais n'est pas applicable aux essais sur terrain dans sa version actuelle. Il est donc nécessaire de définir une méthode adaptée aux essais sur le terrain et dont les résultats sont comparables aux essais en hall.

Principe de la méthodologie de mesure de la régularité d'épandage

La technique de mesure de la régularité d'épandage consiste à déplacer le distributeur d'engrais en fonctionnement au-dessus de bacs récepteurs. Pour apprécier la distribution transversale, ceux-ci sont disposés sur une ligne perpendiculaire à l'axe d'avancement du tracteur et/ou parallèlement, pour étudier la dispersion longitudinale. Les quantités d'engrais recueillies dans les bacs sont ensuite pesées et analysées en fonction de l'éloignement des bacs concernés par rapport à l'axe de passage. Les différents réglages de l'appareil sont choisis selon les directives du constructeur en fonction de l'engrais, de la dose et de la largeur de travail.

Pour analyser les résultats, on utilise trois types de courbes : la courbe de répartition transversale simple, la courbe de répartition transversale après recouvrement et la courbe de largeur optimale de travail.

La courbe de répartition transversale simple donne, pour chaque bac et par rapport à son emplacement, la quantité d'engrais recueillie. Généralement, les bacs disposés à gauche de l'axe de passage de l'appareil sont affectés d'un signe négatif, à droite, d'un signe positif et l'axe est égal à zéro. La distance renseignée est le centre du bac de mesure. Cette courbe permet surtout de visualiser la forme générale de répartition (en triangle, en trapèze, dissymétrique, etc.).

Par construction, un distributeur d'engrais centrifuge épand sur une largeur totale supérieure à la largeur de travail. La quantité épandue décroît vers les extrémités. L'obtention d'une dose homogène sur toute la surface est réalisée par recouvrement d'un passage sur l'autre. La courbe de répartition transversale après recouvrement est établie par superposition de segments de la première courbe.

C'est l'allure de cette courbe résultant du cumul des passages successifs qui détermine la régularité d'épandage. La norme ISO 5690/1 1985a définit un coefficient de variation qui quantifie le degré d'irrégularité.

Les appareils centrifuges se différencient entre eux et vis-à-vis des distributeurs pneumatiques par la forme de la courbe d'épandage. Les épandeurs pneumatiques travaillent suivant une courbe rectangulaire. Il n'y a pas ou peu de recouvrement d'un passage sur l'autre. Les "petits"

et les vieux modèles centrifuges présentent une courbe proche d'un trapèze, surtout dans les conditions extrêmes d'utilisation. Cette forme de courbe tout comme la précédente nécessite un jalonnage précis.

Les appareils centrifuges récents dits "grande largeur" épandent l'engrais suivant une courbe triangulaire. Ceci apporte une grande souplesse dans le travail. Les erreurs de jalonnage ont des faibles répercussions et un même réglage peut souvent convenir pour plusieurs largeurs de travail. Cette technique pose cependant un problème pour traiter les bordures. Il faut alors recourir à des adaptations sur l'appareil (disques de bordure, inclinaison de l'appareil, déflecteur, etc.).

En faisant varier l'écartement entre les passages du tracteur, il est possible de tracer une multitude de courbes de répartition après recouvrement et calculer pour chacune d'elles un coefficient de variation. La représentation graphique des coefficients de variation ainsi calculés en fonction de la largeur de travail permet de visualiser la largeur optimale de travail ISO 5690/1, 1985a. La largeur optimale de travail est la plus grande largeur de travail pour laquelle le coefficient de variation est le plus faible ou reste dans des limites acceptables.

Méthodologie de travail dans le cadre du projet

Mise au point de la technique de contrôle

Pour garantir la fiabilité des mesures, nous avons réalisé des répétitions de mêmes essais dans des conditions définies et analysé l'influence des paramètres extérieures (pente du terrain, vitesse du vent, ...). Ces essais ont permis d'identifier certaines conditions limites éventuelles ainsi que la précision de la mesure.

Des essais comparatifs en hall ont également été réalisés pour valider les résultats. Les seuls halls pour les essais de distributeurs d'engrais sont situés à l'étranger (CEMAGREF-France, SJF-Danemark, firmes privées-Allemagne et Hollande). Le hall que nous avons choisi pour nos essais est celui du Danemark car c'est le plus grand hall d'essais publique d'Europe.

Caractéristiques des engrais

Les caractéristiques physiques des engrais jouent un rôle primordial dans la régularité de la répartition. Tous les engrais ne sont pas susceptibles d'être épandus en grande largeur par des distributeurs centrifuges. Les essais réalisés devraient nous permettre de définir avec plus de précision les valeurs limites de paramètres comme la granulométrie, la masse volumique ou l'angle de talus, au delà desquelles les engrais sont à exclure pour garantir un épandage homogène. Les analyses réalisées sont basées sur les normes suivantes :

Echantillonnage

ISO 7742 : Matières fertilisantes solides - Réduction des échantillons

NBN EN 1482 Echantillonnage des matières fertilisantes solides et des amendements calciques et/ou magnésiens

Angle de talus - EN 12047 - Engrais solides - Mesurage de l'angle de talus d'éboulement (ISO 8398:1989 modifiée)

Fractions granulométriques - NBN EN 1235 - Engrais solides - Tamisage de contrôle (ISO 8397:1988 modifiée)

Masse volumique après broyage, sans tassement et après tassement - NBN EN 1236 - Engrais - Détermination de la masse volumique sans tassement (ISO 3944:1992 modifiée)

NBN EN 1237 - Engrais - Détermination de la masse volumique après tassement (ISO 5311:1992 modifiée)

Fluidité (entonnoire normalisé et chronomètre) - projet de norme CEN

Dureté (écraseur) - procédure adaptée aux engrais

NB : Les normes sont citées à titre indicatif. L'ensemble des techniques mises en oeuvre font l'objet de projets de procédures en vue de l'accréditation du laboratoire.

RÉSULTATS

1. Application des pesticides

Etude des modalités d'agrément du matériel neuf

La qualité des traitements phytosanitaires dépend directement du pulvérisateur. Une déficience de celui-ci conduit automatiquement à des pertes économiques, atteint parfois l'environnement et peut mettre l'utilisateur en danger.

Des études (90-95) ont montré que l'état de fonctionnement des pulvérisateurs agricoles et horticoles est loin d'être optimum. Cette constatation ne se limite évidemment pas à nos frontières. L'origine de cette situation ne dépend pas uniquement de l'utilisateur, parfois une lacune de conception ou de construction ne permet pas au pulvérisateur de travailler correctement. Remédier à cette situation est en partie possible, en améliorant techniquement les pulvérisateurs :

- s'assurer que les nouveaux équipements proposés sur le marché fonctionnent de façon irréprochable,
- suivre ponctuellement l'état de fonctionnement des pulvérisateurs au cours de leur utilisation.

En ce qui concerne le second point, un contrôle périodique obligatoire des pulvérisateurs de grandes cultures et d'arboricultures est instauré depuis septembre 1995.

Au niveau des nouveaux pulvérisateurs, le Ministère de l'Agriculture a mis sur pied, en 1990, une commission dont l'objectif était d'établir un règlement pour l'agrément des nouveaux pulvérisateurs (règlement-type). Il consiste en une série de directives destinées aux constructeurs et importateurs, et auxquelles doivent répondre tous les nouveaux pulvérisateurs (grandes cultures et arboricultures) pour pouvoir être mis en vente sur le marché belge. Cette commission, composée de spécialistes, a terminé l'essentiel du travail technique en 1995. Les consignes générales données à la commission sont les suivantes :

- s'aligner sur les principales normes étrangères en vigueur (Allemagne et Pays-Bas) dans la perspective d'une standardisation européenne ;
- ne pas établir des directives trop spécifiques afin de s'adapter aux évolutions technologiques éventuelles et de ne pas pénaliser un matériel particulier ;

- établir un protocole de mesure associé aux directives afin de pouvoir vérifier la conformité du matériel mis en vente.

Une fois le travail de fond terminé, la Commission a été dissoute et le projet d'instauration d'une agréation des pulvérisateurs neufs a été mis en attente. La raison de cet arrêt est l'existence de projets similaires au niveau européen : l'instauration d'une procédure d'agréation du matériel neuf dans tout pays européen doit obligatoirement faire l'objet d'une notification aux autorités européennes (conformément à la directive européenne 83/189 qui prévoit la notification obligatoire des projets de textes légaux à caractère normatif). En conséquence, les états membres de l'U.E. qui prennent actuellement l'initiative pour imposer des normes nationales en ce domaine risquent de se voir imposer le principe du "statu quo".

Ce règlement-type qui est à présent finalisé se divise en deux parties : la première est composée des directives destinées aux industriels, la seconde rassemble les protocoles de mesures conçus à destination du centre ayant en charge l'agréation des nouveaux équipements.

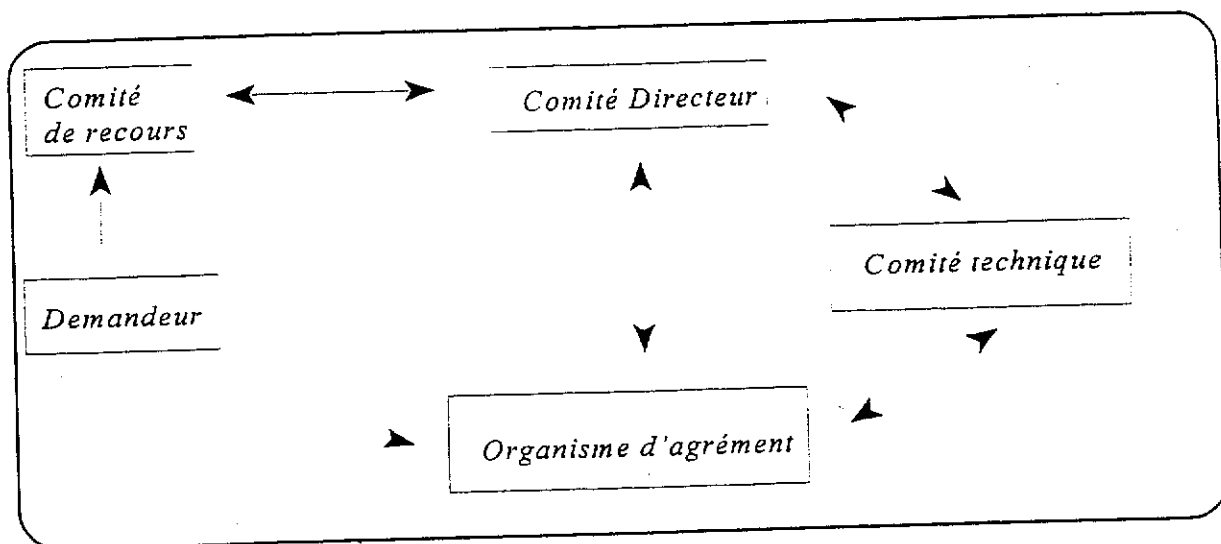
Présentation de l'A.M. d'agréation du matériel neuf d'application des pesticides

Malgré le risque de mise en "statu quo", le Département Génie rural a élaboré un document sous une forme adaptée pour être publié dans un journal officiel (tel que le Moniteur belge). Le travail a consisté en l'élaboration de tout l'environnement administratif et l'organisation autour d'un texte technique. Ce document (fourni en annexe) est subdivisé en 5 chapitres auxquels viennent s'ajouter 3 annexes.

Le chapitre 1 définit les termes de l'Arrêté et précise le champ d'application. Cette partie est en concordance avec l'A.M. relatif au contrôle obligatoire des pulvérisateurs en Belgique. Le problème de la reconnaissance d'un agrément établi dans un autre pays est également abordé. Le chapitre 2 décrit la procédure administrative de l'agrément (introduction d'une demande, examen du prototype, refus/retrait d'agrément ...). L'organigramme administratif figure à la page suivante.

Le demandeur introduit son dossier auprès de l'organisme d'agrément. Le dossier (cf annexe) doit être rempli selon les spécifications de l'A.M. sous peine de refus.

L'organisme d'agrément a pour mission d'analyser les dossiers et éventuellement d'effectuer, sur le matériel, les mesures nécessaires à l'agrément et finalement de délivrer ou non l'agrément au demandeur.



Le Comité technique définit les méthodes d'essais des nouveaux pulvérisateurs et les modifie le cas échéant.

Le Comité Directeur exerce une fonction de surveillance. Il veille au respect de la conformité des opérations d'agrément, rend compte au Ministère des problèmes éventuels rencontrés et fait des propositions visant à adapter les procédures et l'organisation, si nécessaire.

Le chapitre III reprend toutes les normes établies par la Commission ad hoc (90-95) auxquelles doivent répondre les pulvérisateurs et buses neufs.

Le chapitre IV décrit la procédure de recours. En cas de contestation, le demandeur peut introduire une réclamation auprès d'un Comité de recours.

Le chapitre V donne les dispositions pénales en cas d'infraction.

L'annexe 1 présente le formulaire de demande d'agrément. Il se présente sous la forme d'un dossier que le demandeur doit remplir.

L'annexe 2 présente un exemple de certificat d'agrément qui est délivré au demandeur.

L'annexe 3 présente les coûts de l'agrément.

Contacts au niveau du Comité Européen de Normalisation PREN 12761 -1-2-3

Deux projets de normes concernant les pulvérisateurs neufs existent au niveau du CEN. Le Département participe activement aux différents groupes de travail depuis janvier 1996. Contrairement à la EN907 (voir ci-après) qui est actuellement finalisée, le Département est intégrée en tant qu'expert dans le WG3 et participe activement à la prEN12761.

Il est à noter qu'un avant-projet intitulé "Pulvérisateurs - Contrôle des pulvérisateurs en service - Partie 1 : Pulvérisateurs pour cultures basses" a été rédigé. Celui-ci sera examiné dans le courant du mois de septembre 1998. Le Département participera, en tant qu'expert, aux travaux cette commission d'évaluation.

prEN 12761

Le projet de norme européenne a été établi par le Comité Technique CEN/TC144/WG3. Une première version a été soumise aux membres du CEN pour enquête en mars 97. Elle est, depuis mars 98, en cours de rédaction avant vote formel. Si ce projet devient une norme européenne, les membres du CEN seront tenus de se soumettre au règlement intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sous modification, le statut de norme nationale à la norme européenne.

Cette norme comporte les parties suivantes, sous le titre général " Matériel agricole et forestier - Pulvérisateurs et distributeurs d'engrais liquides - protection de l'environnement "

Partie 1 : Généralités

Partie 2 : Pulvérisateurs pour cultures basses

Partie 3 : Pulvérisateurs à jet porté.

Le but de cette norme est de définir les prescriptions minimales auxquelles le matériel de protection des cultures doit répondre en particulier pour réduire les effets néfastes sur l'environnement. La présente norme doit contribuer :

- à obtenir une répartition uniforme et un dépôt convenable du liquide de pulvérisation ;
- à éviter l'épandage inintentionnel de produits phytosanitaires dans l'environnement immédiat ;
- à améliorer la manutention du matériel de protection des cultures.

Cette norme est applicable aux pulvérisateurs portés, traînés et automoteurs utilisés en agriculture et en horticulture. Elle établit les spécifications pour la conception et les performances des pulvérisateurs. Elle définit les prescriptions pour l'identification du pulvérisateur et le contenu minimal de la notice d'instructions. Les prescriptions spécifiques

aux pulvérisateurs pour cultures basses sont incluses dans la partie 2 et celles spécifiques aux pulvérisateurs à jet porté dans la partie 3. Cette norme ne couvre pas les prescriptions de sécurité, celles-ci faisant l'objet de la norme EN907.

EN907

La norme européenne EN907 a également été établie par le Comité technique CEN/TC144/WG3. Il est également soumis au règlement intérieur du CEN/CENELEC. Cette norme est disponible depuis avril 97 et, étant soumise à la "Directive Machine", elle est en cours de traduction en norme nationale dans les différents pays.

Sous le titre général " Matériel agricole et forestier - Pulvérisateurs et distributeurs d'engrais liquides - Sécurité ", cette norme définit les prescriptions minimales de sécurité et leur vérification pour la conception et la construction du matériel de protection des cultures et d'application des engrais liquides.

Cette norme est applicable aux pulvérisateurs agricoles portés, trainés et automoteurs conçus pour être utilisés par une seule personne. Cette norme ne couvre pas les prescriptions environnementales.

Commentaires

Ces deux normes (EN907 et prEN12761) concernent uniquement les pulvérisateurs neufs et s'attachent plus particulièrement à la sécurité et l'environnement. Le projet belge d'agrément des nouveaux pulvérisateurs couvre en plus de ces deux aspects, le fonctionnement du pulvérisateur. L'élaboration de la EN907 étant terminée, il n'était plus possible de s'impliquer dans sa conception. Par contre, en ce qui concerne la prEN12761 (premier draft en mars 97), le Département participe activement à son élaboration.

Les dates de mise en application des projets européens risquent d'être encore retardées. Malgré le risque de mise en statu quo, le projet belge pour l'agrément des pulvérisateurs neufs a été introduit via l'IBN.

Comparaison scientifique des méthodes de contrôle des pulvérisateurs en fonctionnement

Les méthodes de contrôle utilisées dans les différents pays européens sont dans leur majeure partie identiques. Les principaux paramètres du pulvérisateur (entretien général, manomètre, pressions, rampe, fuites, système de régulation...) sont généralement vérifiés. Les techniques

de contrôle différent essentiellement pour un paramètre, à savoir l'usure des buses de pulvérisation. Pour ce faire, deux techniques différentes sont couramment utilisées : la mesure de la répartition transversale à l'aide d'un banc répartiteur ou la mesure du débit des buses. Cette dernière a été retenue.

Une comparaison entre les deux principes de contrôle, d'un point de vue technique et pratique a été réalisée sur base d'essais en laboratoire et de simulation. Elle permettra de faciliter l'uniformisation des méthodes et/ou d'identifier les paramètres d'équivalence.

Comparaison technique

L'étude comparative des deux méthodes de contrôle d'un point de vue technique se concrétise par la publication de quatre textes à caractère scientifique dans des revues internationales. La première publication a été acceptée dans le Journal of Agriculture Engineering Research et Transactions of ASAE. La deuxième publication a été présentée lors du 13th International Congress on Agricultural Engineering (Rabat - Morocco - 2-6 February 1998). Elle est parue dans les proceedings de ce congrès. La troisième publication a été présentée à la 5ème conférence internationale sur les maladies des plantes (3-4-5 décembre 1997 à Tours - France) organisée par l'Association Nationale de Protection des Plantes - ANPP. La quatrième publication est en cours de rédaction et sera publiée dans le Journal of Agriculture Engineering Research et Transactions of ASAE.

L'étude a été menée en étroite collaboration avec la Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux (Professeur C. DEBOUCHE).

Analyse de la relation entre les coefficients de variation simulés et mesurés de la distribution transversale des volumes épandus par une rampe de pulvérisation.

Les caractéristiques de la distribution transversale de différents lots de buses à fente ont été estimés de deux façons différentes. La première méthode est basée sur l'utilisation d'un banc répartiteur classique. La seconde consiste en une simulation numérique qui est obtenue en additionnant les distributions individuelles mesurées sur les buses du lot.

La simulation numérique est automatisée informatiquement. Ce principe permet de gagner du temps et de multiplier le nombre d'essais avec le même lot de buses. Les résultats de la simulation numérique ont été comparés aux distributions transversales obtenues avec le banc répartiteur. Les volumes épandus et mesurés sont significativement différents de ceux simulés. Pourtant, le coefficient de variation qui caractérise l'homogénéité des volumes épandus peut être calculé à partir des volumes épandus. Cette substitution est acceptable à la condition

d'utiliser une relation linéaire qui a été établie entre les coefficients de variation calculés à partir des volumes simulés et à partir des volumes mesurés.

Quelques considérations à propos du débit de buses à fentes neuves et usagées.

Le débit des buses de pulvérisation est un paramètre important dans l'estimation de leur qualité. Ce paramètre est le critère le plus utilisé par les constructeurs de buses lors du contrôle de qualité. Ce paramètre a été choisi pour plusieurs raisons. Les principales sont sa facilité de mesure et le gain de temps qu'elle engendre ainsi que la répétabilité de la mesure. Il faut cependant souligner que la distribution spatiale des volumes épandus par les buses est également une caractéristique déterminante pour la qualité de la pulvérisation. Elle est cependant coûteuse et longue à mesurer.

Habituellement, le débit des buses est comparé à une référence. Cette référence est le débit d'une buse idéale (débit nominal). Lorsque le débit d'une buse s'écarte de trop de la référence, elle est rejetée.

L'étude s'est portée sur différents lots de buses (calibre, marque, matériaux). Elle tente d'établir la distribution des buses neuves et usagées et d'estimer la précision du débit de référence annoncé par les constructeurs.

Contrôle des pulvérisateurs en Belgique. description de la méthode de contrôle.

Cette publication décrit la méthode de contrôle utilisée en Belgique. Les motivations du choix de cette méthode à la place d'une autre seront précisées en se référant aux études réalisées dans le cadre, entre autres, des trois autres publications

Etude de la relation entre les caractéristiques des buses à fente en fonctionnement et la répartition de la rampe de pulvérisation.

Deux paramètres destinés à évaluer l'usure d'une série de buses à fente de pulvérisation ont été étudiés. Le premier est l'écart entre le débit moyen de la série de buses et le débit nominal. Le débit nominal est le débit d'une buse neuve comportant les mêmes caractéristiques des buses constitutives de la série. Le deuxième paramètre est le coefficient de variation de la répartition transversale de la série de buses. La répartition transversale est mesurée à l'aide d'un banc répartiteur à éprouvettes graduées.

Une relation liant les deux paramètres a été établie.

L'écoulement du liquide épandu au travers de la buse à fente va provoquer l'usure de celle-ci. Cela va se manifester par une augmentation de la section d'écoulement et donc une augmentation du débit de la buse pour une même pression. Outre la variation du débit, l'usure

de la buse va également entraîner une dégradation de la distribution transversale du volume de liquide épandu, c'est-à-dire une dégradation de la répartition du volume épandu par la buse. Il en résultera une modification, vraisemblablement dans le sens de la dégradation, de l'homogénéité transversale des volumes épandus par la rampe.

D'après ces considérations, l'usure d'une série de buse peut être estimée de deux façons différentes : d'une part en mesurant le débit des buses, d'autre part en mesurant la répartition transversale de la série de buses. Ces deux techniques sont couramment utilisées dans le cadre de la vérification du bon fonctionnement de pulvérisateurs.

Les valeurs de débit de buses sont comparées au débit d'une buse neuve. C'est le débit nominal donné par le constructeur. La série de buses en entier sera rejetée et considérée comme trop usée lorsque le débit moyen du jeu s'écarte de plus de 5 % du débit nominal.

La répartition transversale est mesurée à l'aide d'un banc répartiteur à éprouvettes graduées. Le coefficient de variation (C.V.) caractérise l'uniformité de l'application. Le C.V., largement utilisé dans ce cas, est l'écart-type des volumes récoltés dans les éprouvettes divisé par la valeur moyenne des volumes récoltés. Plus le C.V. est grand, plus la répartition transversale est dégradée. Une valeur de C.V. supérieure à 9 % correspond à une répartition non-homogène.

L'objectif de cette étude est de comparer les deux mesures de l'usure d'une série de buses et d'établir, éventuellement, la relation qui les lie.

Méthodes et essais

Lot nO	Marque	Angle	Calibre	Nbre	Ecart	C.V. d	C.V. r
1	A	110	vert	40	4,8	2,3	9,7
2	T	80	04	32	10,8	1,4	10,7
3	A	110	R	24	4,3	4	6,8
4	A	80	R	25	6,1	1,3	10,3
5	A	110	R	10	-1,0	1	8,8
6	A	110	v	16	2,2	4,2	13,4
7	A	110	0	32	8,4	3,8	15,0
8	A	110	R	40	0,9	4,6	12,1
9	T	110	04	40	10,9	3,2	13,9
10	T	110	02	29	14,6	6,3	14,3
11	H	110	16	28	26,0	10	14,2
12	H	110	24	30	0,4	5,3	10,6
13	H	110	16	10	-2,7	2	7,9
14	H	110	24	10	-2,2	0,6	6,3
15	A	110	v	10	2,5	2,5	8,5
16	A	110	0	10	3,1	1,6	8,7

17	T	110	02	10	1,0	1,6	8,0
18	A	110	R	38	8,0	2,5	14,4
19	A	80	R	10	-2,2	0,8	6,8
20	T	80	04	10	-0,7	1,5	7,4
21	T	110	04	10	-1,0	1,3	6,2
22	A	110	0	9	3,8	3,1	11,3
23	A	110	R	9	-2,6	2,8	9,4
24	A	110	v	9	1,1	0,9	8,6
25	A	110	0	9	14,9	6,3	19,5
26	A	110	R	9	13,2	1,4	15,7
27	A	110	v	9	11,1	2,9	10,7
28	T	110	015	9	1,2	1,7	11,2
29	T	110	02	9	2,2	1,4	10,7
30	T	110	03	9	-0,5	1,9	8,6
31	T	110	03	24	3,1	2,5	5,2
32	T	110	04	24	0,2	1,1	4,2
33	A	110	v	24	3,0	3,1	12,6
34	A	110	R	24	7,3	3,3	17,9
35	H	110	16	24	5,1	3,6	12,9
36	H	110	20	24	2,8	3,6	7,2

Trente-six séries de buses ont été étudiées. Les caractéristiques des buses des différentes séries sont reprises au tableau ci-dessus. L'expérience consiste à mesurer le débit moyen et la répartition transversale des séries de buses.

Le débit des buses a été mesuré à l'aide d'un équipement spécifique. Il permet de mesurer rapidement un grand nombre de débits de buses (voir publication débit des buses neuves et usagées). Pour chaque série de buses l'écart entre le débit moyen et le débit nominal est calculé. Le coefficient de variation des débits a également été calculé pour chaque série.

La répartition transversale des 21 premières séries de buses a été calculée à partir des répartitions individuelles des buses. Les répartitions individuelles mesurées à l'aide d'un banc répartiteur classique de petite largeur sont additionnées afin de fournir la répartition transversale de la série de buses. L'addition se fait automatiquement par simulation informatique, les répartitions individuelles étant encodées préalablement.

La répartition transversale des 15 dernières séries a été mesurée directement sur un banc répartiteur de grande dimension.

Le coefficient de variation (C.V.) est le paramètre représentatif de la répartition transversale d'une série de buse.

Définition d'une méthode de contrôle simplifiée

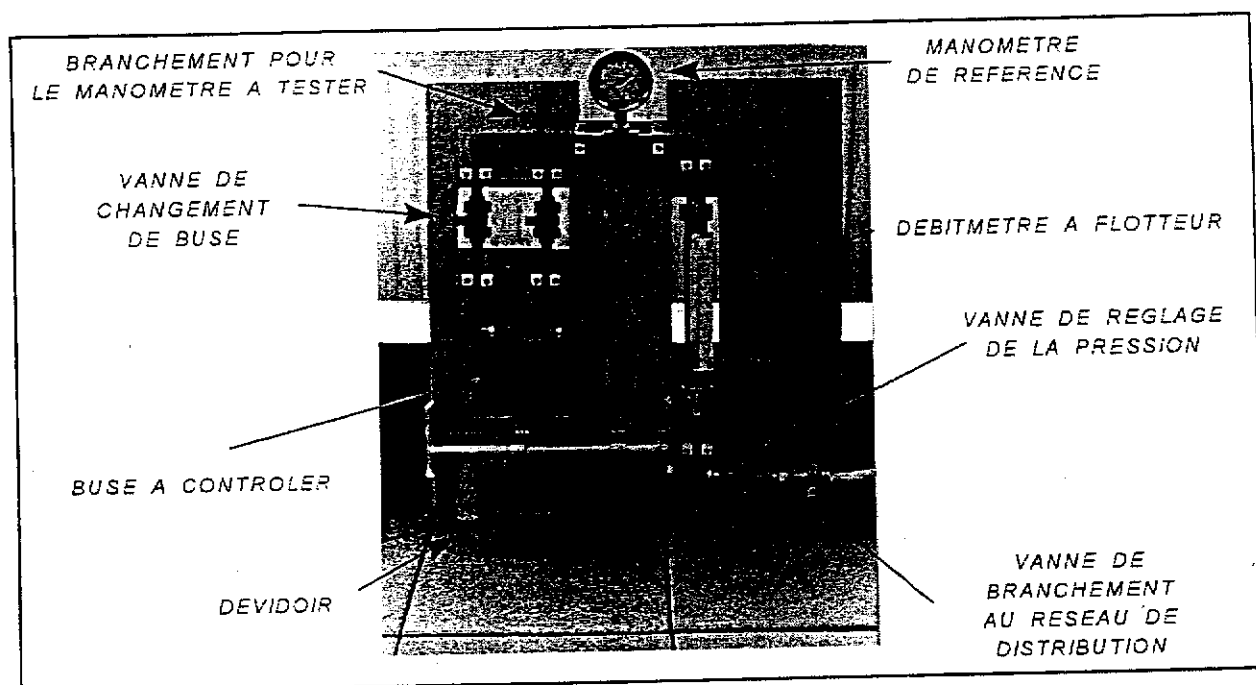
Le pulvérisateur est l'outil le plus utilisé dans une exploitation où la culture est prédominante. Il effectue 2 à 4 passages dans les cultures traditionnelles (céréales, betteraves, ...) et jusqu'à plus de 10 en pommes de terre. Selon le type d'exploitation et sa taille, le pulvérisateur sera plus ou moins utilisé, c'est-à-dire que certains composants s'useront de manière plus intense.

Si certaines défauts apparaissent au premier coup d'œil (présence de fuites, pompe défectueuse, filtres déchirés, ...) d'autres sont plus difficiles à identifier (usure des buses, valeurs erronées des pressions indiquées par le manomètre, dérive des constantes d'étalonnage). De la même manière, si les déficiences identifiées « visuellement » peuvent facilement être réparées par l'utilisateur ou le concessionnaire de machines agricoles, les secondes requièrent le plus souvent un minimum d'équipements de contrôle que l'utilisateur ne possède généralement pas.

Pour certains utilisateurs, le pulvérisateur est donc intensément utilisé et certaines pièces d'usure doivent être remplacées plus rapidement que le cycle de contrôle. Pour la majorité des utilisateurs, préalablement à la vérification obligatoire de leur appareil, dans le cadre du contrôle obligatoire trisannuel, ils désirent effectuer une révision afin d'être accepté lors du premier passage au contrôle.

Ainsi, il serait utile que les concessionnaires de machines agricoles puissent effectuer un diagnostic clair et précis du pulvérisateur. Disposer d'un appareil parfaitement fonctionnel sera d'autant plus vrai dans l'avenir au vu des spécificités croissantes des pesticides et de la tendance croissante des faibles doses, mais également des contraintes demandées lors du contrôle obligatoire.

De manière à renforcer les moyens de mesure des concessionnaires, un banc de mesure a été développé par le Département Génie rural. Il permet la mesure de débits de buses ainsi que la vérification de manomètres. Il est dit « simplifié » par rapport à l'équipement qui est utilisé dans le cadre du contrôle obligatoire des pulvérisateurs. La description du banc est faite dans un texte (en annexe) justifiant les différents choix réalisés et précisant les conditions d'utilisation du banc. De plus, il est accompagné d'un manuel d'utilisation simple et lisible, permettant de connaître directement son fonctionnement et d'en déduire l'état du matériel testé.



L'intérêt d'un tel équipement de mesure est qu'il offre une possibilité de mesure, indépendamment du pulvérisateur, avec une précision acceptable en rapport avec les contraintes du contrôle obligatoire et le coût de l'équipement.

2. Distributeurs d'engrais

Mise au point de la technique de contrôle

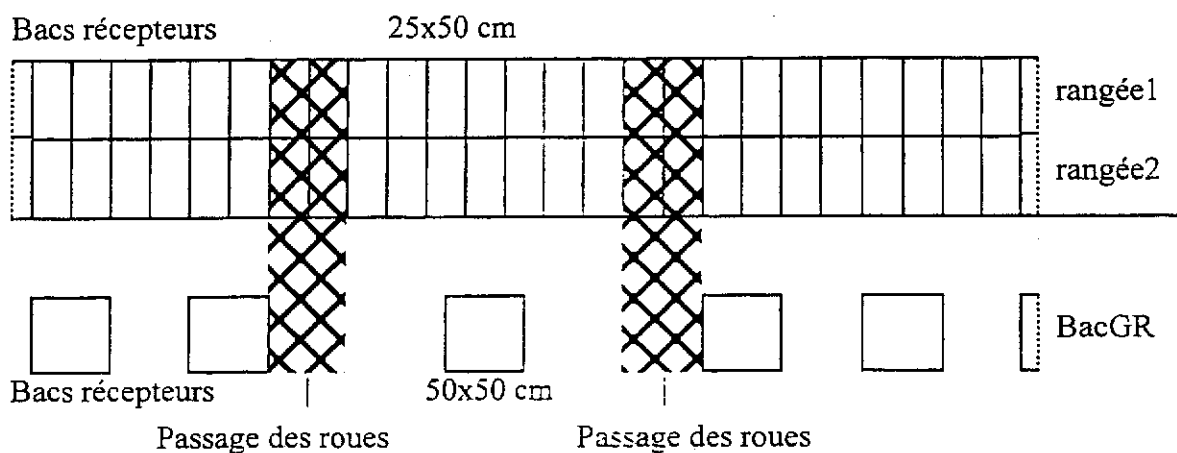
La méthode de contrôle des distributeurs d'engrais généralement utilisée au Département Génie rural a servi de base pour mettre au point une technique de contrôle fiable. Celle-ci se démarque de la méthode normalisée en hall d'essais par le fait qu'elle est adaptée à un contrôle sur terrain, demandant un appareillage réduit. Pour atteindre cet objectif, plusieurs actions ont été menées dans le but de comparer notre méthode avec la méthode normalisée, de vérifier la répétabilité des mesures et de mesurer l'influence de paramètres extérieures (pente du terrain, vitesse du vent).

Précédemment à ce projet, diverses investigations avaient déjà été réalisées afin de déterminer le type de bacs de mesure, le nombre et la position des bacs, le nombre de passage du distributeurs au dessus des bacs.

Comparaison de notre méthode avec la méthode normalisée

Afin de réaliser cette comparaison, nous nous sommes rendus dans un hall d'essais au Danemark. Les essais qu'on y effectue respectent les prescriptions de la norme ISO. Deux rangées contiguës de bacs récepteurs sont disposés sur toute la largeur du hall (+/- 60 m). Leurs dimensions sont de 25x50 cm. Après trois passages du distributeur au dessus des bacs, la quantité recueillie est pesée et les différents paramètres caractérisant l'épandage sont calculés automatiquement. Un rapport d'essais contenant ces paramètres est rédigé et la courbe de recouvrement est tracée.

A côté de ce dispositif de récupération des particules d'engrais, nous avons disposés nos bacs aux emplacements prévus par la méthode que nous avons mise au point (voir schéma ci-dessous).



Cette organisation nous a permis de comparer directement les valeurs calculées par le dispositif du hall aux valeurs calculées après pesée des quantités récoltées simultanément dans nos bacs, que ça soit après un ou trois passages du distributeur.

Environ soixante essais ont été réalisés, répartis en plusieurs séries selon la variation de certains paramètres (marque du distributeur, réglage du distributeur, type d'engrais, nombre de passages, largeur de travail, ...). L'estimation des quantités épandues par hectare, les coefficients de variation et les largeurs optimales ont été comparées statistiquement par la méthode de la variance à un critère de classification. La synthèse des paramètres calculés et la comparaison statistique sont fournies en annexe.

Essais hall Danemark	Essais bacs Génie-rural	Quantité épanchée	Coefficient de variation	Largeur optimale	$F_{0,95}$
		F_{obs}	F_{obs}	F_{obs}	
9800127-131	da6-10.dat	2.48	7.89	1.52	5.32
9800132-141	da11-20.dat	1.03	<u>11.60</u>	2.67	4.41
9800142-143	da21-22.dat	1.64	15.99	9.00	18.51
9800144-146	da23-25.dat	0.02	3.66	0.14	7.71
9800147+150	da26+29.dat	16.05	0.19	0.20	18.51
9800148-149	da27-28.dat	0.14	1.56	1.00	18.51
9800151-152	da30-31.dat	0.84	3.10	-	18.51
9800153-154	da32-33.dat	0.07	0.73	-	18.51
9800155-157	da34-36.dat	3.34	1.56	0.14	7.71
9800158-159	da37-38.dat	0.41	1.52	1.00	18.51
9800160-161	da39-40.dat	0.80	<u>19.23</u>	5.00	18.51
9800162-163	da41-42.dat	0.51	0.37	9.00	18.51
9800166-167	da45-46.dat	15.26	8.15	1.00	18.51
9800168-169	da47-48.dat	0.72	0.59	9.00	18.51
9800170-172	da49-51.dat	0.43	2.16	-	7.71
9800173-174	da52-53.dat	<u>88.29</u>	2.49	-	18.51
9800175-176	da54-55.dat	3.70	0.62	-	18.51
9800179+181	da58+60.dat	1.75	0.18	1.00	18.51
9800182-183	da61-62.dat	2.01	3.41	0.50	18.51
9800186-187	da65-66.dat	0.04	7.08	2.00	18.51

Hormis pour certains cas, l'analyse de la variance n'a pas permis de déceler des différences significatives entre les quantités moyennes récoltées, les coefficients de variation et les largeurs optimales calculées à partir des quantités récoltées selon la méthode normalisée ou notre méthode. Le niveau de signification (α) utilisé est 0,05. Dans les trois cas où la différence est significative pour ce niveau, il faut se baser sur des niveaux de signification respectivement de 0,001 - 0,025 - 0,01 pour que la différence ne soit plus significative.

Répétabilité des mesures

La connaissance de la stabilité des résultats est un facteur fondamental pour estimer la fiabilité de la méthode de mesure. Pour évaluer celle-ci, nous avons calculé la variance du coefficient de variation et de la largeur optimale de travail, sur base d'essais de terrain.

Plusieurs séries d'essais ont été réalisées à cet effet.

Essai 1 : Distributeur type "grande largeur", largeur de travail recherchée 24 m, engrais type ammonitrate épandu à raison d'un débit de 96 kg/min.

Essai 2 : Distributeur type "grande largeur", largeur de travail recherchée 32 m, engrais type ammonitrate épandu à raison d'un débit de 96 kg/min.

Essai 3 : Distributeur type "grande largeur", largeur de travail recherchée 24 m, engrais type Kemira 14-7-21. Les caractéristiques et résultats de cet essai sont fournis en annexe.

Les réglages du distributeurs sont conformes aux consignes du constructeur.

Essais	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Appareil	Grande largeur	Grande largeur	Grande largeur
Engrais	Ammonitrate 27 %	Ammonitrate 27 %	NPK 14-7-21
Débit en kg/min	98	98	n°33
Nombre de répétitions	18	15	12
Coefficient de variation (Qtité récoltée)			
moyenne	11,45	11,23	-
variance	2,61	2,91	-
Coefficient de variation (Distributeur)			
moyenne	14,86	10,94	9,85
variance	11,45	11,22	9,99
Largeur optimale de travail			
moyenne	24,22	33,13	22,50
variance	0,73	0,51	0,50

Au vue de ces résultats, on peut admettre que la méthode est suffisamment fiable pour les buts recherchés. Même pour le coefficient de variation dont la variance est la plus élevée, la stabilité de la mesure est acceptable pour déterminer la qualité d'un épandage.

Il faut cependant être conscient que la méthode est moins précise que la technique du hall d'essai. Dans le pire des cas, la variance des CV est plus que doublée par rapport aux essais en hall.

	Hall (Danemark)	Bacs (Danemark)
Coefficients de variations	6.4	6.98
	7.2	9.64
	7.9	8.41
	7.3	9.50
	7.0	7.39
	7.5	8.06
	6.9	7.96
	6.8	8.30
	7.0	7.99
	6.4	7.10
Variance	0.194	0.725
Ecart-type	0.441	0.851

Le tableau précédent montre les variances et écart-type des C.V. d'une série d'essais réalisés simultanément au Danemark. La première colonne contient les valeurs calculées par la méthode normalisée, tandis que la deuxième contient les valeurs calculées d'après notre méthode. Il n'y a pas de différence significative entre ces coefficients de variation pour un niveau de signification de 0,001. Par contre, dans les autres essais réalisés au Danemark, il n'y a pas de différence significative entre les coefficients de variation calculés suivant la méthode normalisée et suivant notre méthode, même pour un niveau de signification de 0,05.

La mesure de la performance optimale d'un appareil est plus délicate sur le terrain, vu les conditions d'essais. Cependant, pour quantifier le travail des appareils à la ferme et ajuster les réglages, on peut accepter une certaine marge d'erreur. Plutôt que de se fixer sur les chiffres, il

est souvent préférable de situer l'essai dans une classe d'épandage (très bon, bon, satisfaisant, mauvais). Les limites entre classes sont à préciser sur base d'essais agronomiques.

Influence des paramètres extérieurs

Deux paramètres extérieurs ont été pris en compte : il s'agit de la vitesse du vent et de la pente du terrain.

Les essais sont réalisés habituellement par vent nul ou d'une vitesse maximale de 2 m/s. Une partie des essais comparatifs a été réalisée par des vents de 3 à 4 m/s.

De même, les essais sont généralement réalisés sur terrain plat; les différences de relief rencontrées localement étant gommées par les supports des bacs. Pour la deuxième série d'essais comparatifs, la pente a été augmentée artificiellement (au niveau des supports de bacs). Dans chaque cas, l'engrais était le même et le distributeur était réglé de la même façon. La comparaison a porté sur deux paramètres importants, qui caractérisent l'épandage : le coefficient de variation et la largeur optimale de travail.

Paramètres de l'essai	F_{obs}	$F_{0.95}$
Coefficient de variation	0.70	3.59
Largeur optimale	2.75	3.59

Comme le montre l'analyse statistique, il n'y a pas de différence significative pour ces deux paramètres, entre les valeurs obtenues lors des essais en conditions normales, par vent et sur terrain en pente.

Caractéristiques des engrais

La granulométrie

L'influence de la granulométrie sur la répartition de l'engrais a fait l'objet de beaucoup de travaux de recherches. La théorie montre l'importance de ce facteur à la fois au niveau du comportement sur le disque et sur la trajectoire dans l'air.

Le principe de base est que plus la particule est grosse, plus elle va loin. Mais rien ne précise la direction adoptée par la particule à la sortie du disque. Celle-ci peut aller plus loin, aussi bien dans l'axe du tracteur que transversalement. Ce qui n'a pas toujours pour conséquence une

augmentation de la largeur de travail. La granulométrie peut être représentée par différentes mesures.

-> Le diamètre médian

Les essais ont été réalisés avec des engrais présentant des diamètres médians différents. A l'intérieur de chacune des trois séries d'essais, le même distributeur a été utilisé avec un même réglage. Dans chaque cas, le débit est proche de 100 kg/min. Les réglages choisis correspondent à une bonne distribution pour la majorité des engrais.

	Série 1	Série 2	Série 3
Type de distributeur	Grande largeur	Grande largeur	Classique
Longueur des pales (mm)	290/240	290/240	151/114
Angle de retard des pales (deg)	38/58	38/58	0/0
Hauteur avant (cm)	50	50	54
Hauteur arrière (cm)	50	50	50
Réglage du point de chute	4,5	6,5	fixe
Vitesse de rotation des disques	900	1 000	980

Les distributeurs sont portés sur un tracteur de 75 kW se déplaçant à 4 km/h sur un terrain presque horizontal (pente inférieure à 2 % en sens contraire à l'avancement). Les essais se sont déroulés par temps calme (vent < 2 m/s).

Pour la plupart des appareils, quel que soit le réglage, on a souvent observé une augmentation de la largeur de travail optimale proportionnelle à la croissance du diamètre médian. Cependant, les résultats sont assez dispersés et la relation n'est pas systématique. Ils sont influencés à la fois par l'appareil et son réglage et par d'autres caractéristiques de l'engrais. Notons également que les engrais les plus fins sont particuliers. Ils contiennent généralement beaucoup de poussières.

L'influence de la taille des particules sur la largeur moyenne de projection est assez semblable à celle sur la largeur de travail optimale. Cependant, les engrais pour lesquels la largeur moyenne de projection est importante ne réalisent pas systématiquement les plus grandes largeurs de travail. Ceci s'explique par des formes de courbe de distribution spécifiques (trapèze, triangle, etc.).

Les seules conclusions qu'il a été possible d'émettre à la suite de ces essais sont :

- il a été possible d'épandre correctement sur 24 m avec plusieurs appareils des engrais dont le diamètre médian était supérieure à 2,8 mm, nonobstant la teneur en poussières. Le diamètre médian le plus élevé était de 3,80, ce qui n'a pas posé de problèmes sur une largeur de travail de 24 m. Néanmoins, dans la majorité des cas, les réglages les plus aisés ont été observés pour des engrais dont le diamètre médian était compris entre 3,00 et 3,50 mm;
- les engrais dont le diamètre médian était inférieur à 2,8 mm n'ont pas pu être épandus de manière régulière sur une largeur de travail de 24 m et quelquefois même, pour des largeurs inférieures.

->Spectre granulométrique

Nos essais n'ont pas mis en évidence le rôle de l'étalement du spectre granulométrique. Mais, nous avons remarqué l'influence néfaste des poussières et des particules trop grosses. Les forces de frottement dans l'air bloquent les poussières à proximité des distributeurs, ou bien, le vent les emporte dans son sillage tandis que les particules grossières adoptent des trajectoires imprévisibles ou se brisent au contact de la pale.

Au cours de nos essais, tous les engrais répondant aux critères suivants ont pu être épandus correctement avec des appareils travaillant en grande largeur (excepté les engrais qui sont exclus pour d'autres critères) :

- moins de 1 % des particules inférieures à 1,4 mm,
- moins de 2 % des particules supérieures à 5 mm,
- 90 % des particules entre 2,5 et 4,5 mm.

La masse volumique sans tassement

La mesure de la masse volumique sans tassement a été effectuée suivant la norme ISO 3944. Nous n'avons pas pu observer de relations claires et précises entre la masse volumique sans tassement et les largeurs moyennes de projection ou optimales de travail .

Notons que les engrais, dont la densité sans tassement est inférieure à 0,95 kg/dm³, sont particuliers (mélange d'engrais et/ou avec forte teneur en poussières).

Nous n'avons pas observé de relation entre la masse volumique sans tassement et la largeur de travail. Cependant, la littérature propose comme valeurs minimales de la masse volumique sans tassement : 0,950 kg/dm³ pour les ammonitrates et 0.900 kg/dm³ pour les engrais complexes.