

# Analyse des pratiques d'épandage d'engrais minéral azoté solide. Méthodologie et résultats

J. Le Du\*

**L**a recherche agronomique et les organismes de développement mettent aujourd'hui à la disposition des agriculteurs des méthodes de fertilisation raisonnée. Par ailleurs, les fabricants d'engrais et les constructeurs de matériel continuent d'améliorer les performances et la fiabilité de leurs produits. Ces progrès sont souvent remis en cause sur le terrain par la mise en œuvre de techniques d'épandage insuffisamment maîtrisées (vieillesse d'un matériel inadapté, choix de technologies "bon marché") qui, de ce fait, induisent des phénomènes de surdosage et de sous-dosage. Dans le cas des épandages d'engrais azotés solides (en particulier l'ammonitrate), les surdosages peuvent avoir de lourdes conséquences :

— financières : alourdissement du coût des intrants, verse et baisse de rendement, difficultés de récolte ;

— écologiques : risque de pollution des eaux superficielles et souterraines par le lessivage des excédents de nitrate dans le sol.

---

\* Etude menée avec le soutien du FIDAR Massif-Central.

**MOTS CLÉS**

Engrais azoté, fertilisation minérale, machinisme agricole.

**KEY-WORDS**

Agricultural machinery, mineral fertilization, nitrogen fertilizer.

**AUTEUR**

C.E.M.A.G.R.E.F., Groupement de Clermont-Ferrand, Division "Technologie du Machinisme Agricole", Domaine des Palaquins, Montoldre, F-03150 Varennes-sur-Allier.

Dans les zones sous-dosées, le manque d'azote fait chuter le rendement et le phénomène risque d'être accentué si l'on réduit les doses.

## Méthodologie

Une analyse de la situation a été entreprise par le CEMAGREF sur 72 cas dans le département de l'Allier en 1991, et sur 32 cas dans le département du Puy-de-Dôme en 1992. Le constat a été mené lors de l'épandage d'engrais de printemps avec la participation d'une centaine d'agriculteurs désireux de connaître les performances de leurs appareils.

Les mesures et observations effectuées sur le terrain se répartissent de la façon suivante :

- dans l'Allier : 50 essais sur cultures et 22 essais sur prairies naturelles (terrains plats) ;
- dans le Puy-de-Dôme : 19 essais sur cultures et 13 essais sur prairies naturelles (terrains en pente).

### 1. Méthode d'évaluation de la qualité de l'épandage

Le principe de la mesure est simple : lors de l'épandage d'engrais, l'ensemble tracteur-épandeur passe sur une rangée de bacs contigus placés perpendiculairement à l'axe d'avancement. L'engrais retenu dans les bacs est recueilli bac par bac et pesé. Ces pesées permettent de tracer la courbe de répartition transversale de l'engrais pour un passage (figure 1) puis, par calcul, la courbe de recouvrement correspondant aux deux retours successifs à gauche et à droite ; on peut ainsi obtenir le coefficient de variation (CV) pour la largeur de travail utilisée lors de l'épandage (figure 2).

### 2. Cas particulier des pentes

Dans la majorité des cas, l'axe d'avancement de l'ensemble tracteur-épandeur ne se trouve pas être sur la ligne de plus grande pente et il y aura toujours une dissymétrie gauche-droite due au fait que les portées de projection de l'engrais sont toujours plus courtes en amont qu'en aval.

Le principe de la mesure est identique, mais on effectue deux passages au-dessus des bacs, un aller et un retour, ce qui permet de tracer les courbes de répartition transversale qui sont différentes à l'aller (par exemple, montée) et au retour (par exemple, descente). La connaissance de ces deux courbes (aller et retour) permet

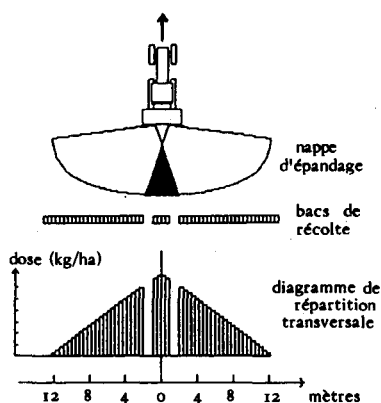


FIGURE 1 : Courbe type de répartition transversale.

FIGURE 1 : Typical transverse distribution curve.

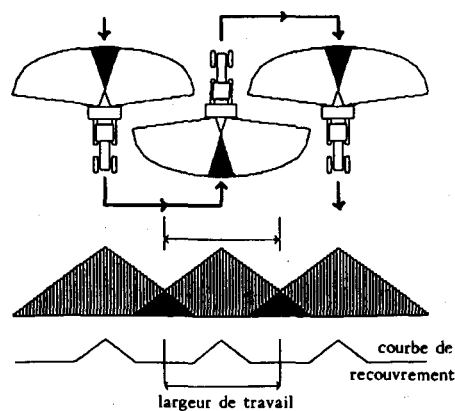


FIGURE 2 : Courbe type de recouvrement.

FIGURE 2 : Typical covering curve

de tracer la courbe de recouvrement. A chaque courbe de recouvrement correspond un coefficient de variation (coefficient de variation aller et coefficient de variation retour) pour la largeur de travail utilisée.

### 3. Origine des irrégularités de la courbe de recouvrement

Idéalement, la courbe de recouvrement est une droite horizontale. En fait, que l'on soit sur terrain plat ou sur pente, cette courbe que l'on exprime en pourcent par rapport à la dose épandue, présente des irrégularités dues à de nombreux facteurs parmi lesquels on peut citer :

- les défauts de réglage,
- les défauts de l'appareil,
- les qualités balistiques et la nature de l'engrais : ammonitrate et urée se présentent généralement sous deux formes différentes (granulée en grains de 3 mm pour le premier ; prillée, de granulométrie beaucoup plus fine, pour la deuxième) dont les qualités balistiques diffèrent et qui supposent d'adapter le réglage de l'épandeur et la largeur de travail,
- les inégalités du terrain (creux et bosses),
- le vent,
- le positionnement de l'épandeur sur l'attelage trois points du tracteur, déterminant la hauteur des organes de distribution par rapport au sol,

- l'erreur de jalonnement, mais également des facteurs inhérents aux pentes :
- la dissymétrie gauche-droite des portées de projection de l'engrais,
- les vitesses d'avancement différentes entre la montée et la descente, ainsi que les régimes de rotation de la prise de force variables,
- le dévers, qui tend à donner un angle de dérive avec l'axe d'avancement et l'axe du tracteur et à déporter la nappe d'épandage du côté où il se forme,
- le point de chute de l'engrais sur les pales du distributeur centrifuge, variable suivant l'inclinaison prise par l'épandeur,
- les obstacles à éviter, surtout sur prairies naturelles (rochers, arbres, pentes excessives),
- la conduite de l'opérateur.

#### 4. Estimation de la qualité de l'épandage

Ces irrégularités de la courbe de recouvrement permettent de calculer le **pourcentage des zones surdosées et des zones sous-dosées par rapport à la ligne 100%** qui représente la dose moyenne épandue, en sachant que les zones surdosées équilibrent les zones sous-dosées (figure 3).

D'autre part, le coefficient de variation est le rapport exprimé en pourcent de l'écart-type à la moyenne des écarts par rapport à la ligne 100%. Plus la valeur du coefficient de variation est faible, meilleure est la régularité de la répartition transversale. La connaissance du coefficient de variation est donc très importante. Sa valeur caractérise la qualité de l'épandage.

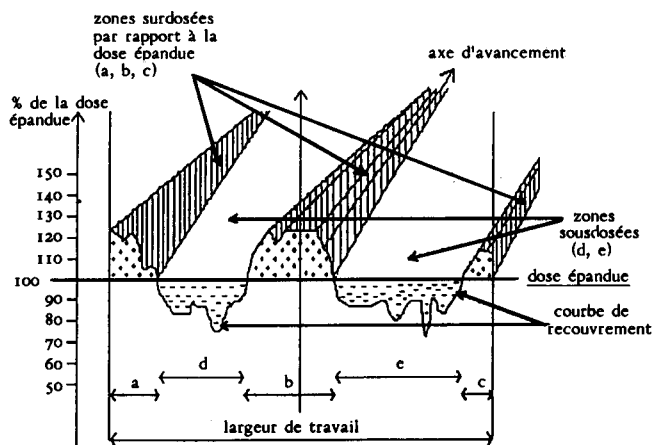


FIGURE 3 : Courbe de recouvrement observée au champ et équilibre des zones surdosées et sous-dosées.

FIGURE 3 : *Covering curve observed in the field and balance of over-fertilized and under-fertilized areas.*

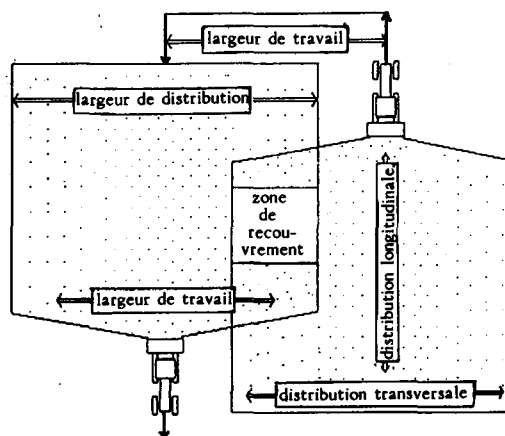


FIGURE 4 : Egalité de la largeur de travail et de la distance de passage (épandages centrifuges et pendulaires).

FIGURE 4 : Equality of working width and distance between runs (centrifugal and pendular spreadings).

Pour avoir un bon épandage, la largeur de travail et la distance entre deux passages doivent être égales (figure 4). Si la distance de passage est inférieure à la largeur de travail, il y a un excès de dose d'engrais dans la zone de recouvrement ; inversement, quand la distance de passage est supérieure à la largeur de travail, la dose d'engrais est insuffisante dans la zone de recouvrement ; dans les deux cas, le coefficient de variation a une valeur élevée.

La courbe des coefficients de variation traduit bien l'effet de la distance de passage sur la régularité de l'épandage. Elle permet également d'apprécier la sensibilité de l'appareil aux erreurs de réglage ou de jalonnement.

Un nombre élevé d'essais au banc d'épandeurs d'engrais solides (expérimentation au champ menée par le CEMAGREF en 1990 sur la verse des céréales) a permis de déterminer une gamme de valeurs pour les coefficients de variation qui s'établit de la façon suivante :

Qualité d'épandage	Essai au banc	Essai au champ
- très bonne à bonne	0-10 %	0-15 %
- satisfaisante à moyenne	10-15 %	15-25 %
- mauvaise, à éviter	> 15 %	> 25 %

Au-dessus de 25 %, l'épandage induit une incidence économique (rendement, verse) et une incidence "environnementale" (excès de nitrate dans les sols et pollution des eaux).

## Résultats

L'analyse des coefficients de variation des courbes de recouvrement obtenues dans les départements de l'Allier et du Puy-de-Dôme permet d'évaluer l'effet de la pente et du matériel, mais les observations réalisées mettent également en évidence l'effet de nombreux autres facteurs sur la qualité de l'épandage.

### 1. Incidence de la méthode de jalonnement

Un bon jalonnement permet d'avoir une distance entre deux passages égale à la largeur de travail. La mesure de l'écart entre distance de passage et largeur de travail a été effectuée sur toutes les parcelles suivies dans le département de l'Allier mais seulement sur les parcelles de culture (de grande taille) du département du Puy-de-Dôme.

Les résultats sont présentés tableau 1. Diverses observations ont été effectuées, selon les méthodes utilisées :

#### — Sans jalonnement

C'est sur les prairies naturelles que l'agriculteur prend le moins de précautions pour épandre les engrais. L'agriculteur se fie à son appréciation visuelle et risque de provoquer des surdosages quand l'écart atteint l'ordre du mètre (38 % des cas). Le risque est cependant assez limité car les doses d'engrais azotés et d'engrais de fonds sont généralement faibles.

#### — Jalonnement au pas

Ce mode de jalonnement est assez utilisé par les agriculteurs sur prairies naturelles ou artificielles, sur terrain nu avant les semis de printemps et sur les cultures. C'est un moyen simple et qui a l'avantage de se pratiquer seul, mais il est long,

Jalonnement	Nombre de cas	Pourcentage (%)	Ecart moyen (m)	Ecart positif (sous-dosage) (% des cas)	Ecart négatif (surdosage) (% des cas)
- Inexistant	8	11	1.00	62	38
- Au pas	23	32	0.68	65	35
- Au pentadécamètre	16	22	0.37	69	31
- Au semoir	33	45	0.27	72	28

TABLEAU 1 : Incidence du jalonnement : écarts observés entre largeur entre deux passages et largeur de travail dans les exploitations (l'écart est compté positif quand la largeur entre deux passages est supérieure à la largeur de travail, et négatif dans le cas contraire).

TABLE 1 : Effects of marking out : differences observed between distances of two successive runs and working widths (if the distance is greater than the working width, the difference will be positive ; if smaller, the difference will be negative).

fastidieux et sujet à erreur. Le risque de surdosage est ici important car, en général sur les cultures, les doses d'engrais à épandre sont respectées. Le risque est d'autant plus grand que l'écart est négatif et que les largeurs de travail sont faibles : dans 78% des cas, la largeur de travail est de 12 m. C'est donc avec cette méthode de jalonnement que l'incidence des risques de surdosage est la plus forte.

— Jalonnement au pentadécamètre

Le pentadécamètre est très rarement utilisé. Il est remplacé par tout autre moyen de mesure tel que câble à la dimension voulue, piges... Ce mode de jalonnement est surtout employé en culture et par les utilisateurs de grande largeur de travail (18-24 m) qui ont le souci de faire au "plus juste". En fait, avec cette méthode, l'écart entre largeur de passage et largeur de travail diminue, et même si un écart négatif se retrouve dans 69% des cas, les risques d'avoir des surfaces surdosées s'atténuent, surtout en grande largeur de travail. Une utilisation de l'électronique du tracteur en mode "distance parcourue" peut éventuellement servir au jalonnement.

— Jalonnement au semoir

C'est la méthode la plus utilisée en culture et celle qui donne le plus faible écart. En grande largeur de travail, l'écart est très faible, de l'ordre de 1%. C'est la méthode qui présente le moins de risques de surdosage dû à une variation de la largeur de travail. C'est donc la méthode à recommander. Reste à résoudre le problème des épandages d'engrais azotés en terrain nu (par exemple, première dose juste avant le semis de maïs).

## **2. Incidence de la vitesse d'avancement des tracteurs sur les pentes**

Pour les essais en terrain plat, cette mesure n'a pas été prise en compte car il a été jugé qu'une fois la vitesse d'avancement fixée, celle-ci restait constante durant l'essai. En revanche, il en est tout autrement sur les pentes. Les chronométrages effectués sur 50 m, à l'aller comme au retour, montrent qu'il y a toujours une différence entre la vitesse en montée et la vitesse en descente. Dans la plupart des cas, la vitesse d'avancement en descente est plus rapide que la vitesse d'avancement en montée. A la montée, le tracteur patine et la vitesse d'avancement baisse. L'agriculteur a alors tendance à augmenter légèrement l'accélération. Ce faisant, le régime de rotation de la prise de force augmente. A la montée, la baisse de la vitesse d'avancement et l'augmentation du régime de rotation de la prise de force ont deux conséquences : la dose d'engrais augmente et la largeur de la nappe d'épandage augmente. Inversement, à la descente, le poids de l'ensemble tracteur-épandeur entraîne une augmentation de la vitesse d'avancement. L'agriculteur a alors tendance à réduire légèrement l'accélération, ce qui a pour effet de faire baisser le régime de rotation de la prise de force, et donc de faire diminuer la dose d'engrais et la largeur de la nappe d'engrais.

Les moyennes des vitesses d'avancement en montée et en descente pour les 32 cas étudiés sont respectivement de 7,41 et 7,82 km/h, soit 0,41 km/h de plus à la descente qu'à la montée (5,5% de plus), mais sur 7 cas (21,8% des cas), les écarts de vitesse sont supérieurs à 1,0 km/h (de 1,0 à 2,1 km/h). Comme la dose épandue est inversement proportionnelle à la vitesse d'avancement, quand l'écart de vitesse augmente, la différence entre la dose en montée et la dose en descente augmente.

En fait, les aller et retour se succédant, la dose moyenne fixée par l'agriculteur est respectée, mais les courbes de recouvrement de montée et descente sont différentes et présentent de nombreuses irrégularités dues, en partie, aux différences de dose d'engrais et de largeur d'épandage.

Le but est d'avoir une vitesse d'avancement constante, aussi bien à la montée qu'à la descente, et un régime de rotation de la prise de force constant, égal à celui indiqué par le constructeur de l'épandeur, pour réaliser l'épandage dans les meilleures conditions. Sur les pentes, ce but est difficile à atteindre. Il ne pourra s'agir que d'un compromis en vue de réduire au maximum les écarts. L'utilisation d'un tracteur quatre roues motrices améliorera l'adhérence et pourra, de ce fait, réduire l'écart entre vitesse d'avancement à l'aller et vitesse d'avancement au retour. Par ailleurs, l'emploi d'épandeurs à distribution proportionnelle à l'avancement (D.P.A.) mécanique ou électronique, à condition de disposer d'une distribution volumétrique, garantit un dosage à l'hectare constant, indépendant de la vitesse d'avancement.

### **3. Effets du régime de rotation des prises de force**

En général, le constructeur de l'épandeur indique dans le manuel d'utilisation quel doit être le régime de rotation de la prise de force pour réaliser un bon épandage (540 tr/mn).

Après les essais aller et retour, il a été demandé aux agriculteurs de désaccoupler l'arbre à cardans et de mettre le moteur au régime des essais afin de mesurer le régime de rotation de la prise de force à l'aide d'un compte tour. Sur les 32 mesures faites dans le département du Puy-de-Dôme, les résultats varient beaucoup (de 380 à 610 tr/mn) ; 3 cas (9,3% des cas) présentent des régimes recommandés par les constructeurs. D'une façon générale, les prises de force tournent à un régime inférieur à 540 tr/mn.

Il faut contrôler le fonctionnement du compte-tours du tableau de bord. L'affichage digital en cabine permettrait à l'agriculteur de maintenir au plus juste le régime nominal de la prise de force, indépendamment des indications de cadrans. Ce maintien durant l'épandage est indispensable pour garder constante la largeur de travail.



#### **4. Hauteur des éléments distributeurs par rapport au sol**

Pour chaque appareil et chaque engrais, le constructeur préconise une certaine hauteur des éléments distributeurs par rapport au sol. Ce positionnement de l'appareil est très important pour les épandeurs centrifuges et pendulaires car il détermine, en partie, la largeur de la nappe d'épandage et donc la largeur de travail.

Les écarts observés (0,50 m à 1,00 m) sont importants. Avec les appareils anciens, l'agriculteur établit au mieux une hauteur des organes de distribution par rapport au sol, bien souvent en se fiant à une appréciation visuelle de la nappe d'épandage. Là encore, le contrôle sur le terrain de la largeur d'épandage, réalisé par l'agriculteur avec tel ou tel engrais, permettrait une meilleure utilisation des appareils.

#### **5. Vitesse du vent**

En général, il est recommandé de ne pas épandre d'engrais quand il y a du vent, surtout quand les largeurs de travail sont importantes. Quand la direction du vent fait un angle avec l'axe d'avancement du tracteur et que cet angle tend à se rapprocher de la valeur de 90°, l'action du vent déporte la nappe d'épandage ; ce déport sera d'autant plus important et irrégulier que le vent soufflera avec force et par rafales.

On observe 13 cas d'épandage par vent dont la vitesse moyenne est supérieure à 10 km/h, dont 9 cas sur les pentes. Les mesures montrent qu'il y a toujours plus de vent sur les pentes et en montagne qu'en plaine. On remarque d'ailleurs une plus forte proportion d'appareils pneumatiques, moins sensibles au vent, dans le département du Puy-de-Dôme que dans le département de l'Allier.

#### **6. Influence globale de la pente**

En utilisant comme gamme de valeurs du coefficient de variation des courbes de recouvrement celle établie au champ, on obtient le classement présenté tableau 2.

Si l'on considère que la qualité de l'épandage commence à se dégrader lorsque le coefficient de variation dépasse 20 %, on constate que :

- sur les terrains plats (Allier), 60 % des cas présentent un mauvais épandage,
- sur les pentes (Puy-de-Dôme), 70 % des cas présentent un mauvais épandage.

Ces pourcentages sont très élevés et il semble que le fait d'épandre sur des terrains en pente accentue encore les irrégularités de la répartition transversale des engrais, comme le prouvent les coefficients de variation présentés par catégorie de matériel dans le tableau 3.

	ALLIER (72 cas étudiés)	PUY-DE-DOME (32 cas étudiés)
<b>Pente moyenne (%)</b>	faible	16,9 (de 12 à 27)
<b>Fréquence (% des cas observés)</b>		
- Coefficient de variation > 25%	44,4	37,5
- Coefficient de variation de 20 à 25%	15,2	32,8
- Coefficient de variation de 15 à 20%	23,6	23,4
- Coefficient de variation < 15%	16,6	6,2

**TABEAU 2 : Coefficients de variation des courbes de recouvrement observés dans les exploitations.**

*TABLE 2 : Coefficients of variation of the covering curves observed on the farms.*

Type d'appareil	Nombre	Age	Coeff. variation (%)	Surdosage > 120%		Sous-dosage < 80%		Pente (%)
				Taux (%)	Surface (%)	Taux (%)	Surface (%)	
<b>ALLIER 1991 (72 appareils)</b>								
A Centrifuge monodisque, 9-18 m	10	10,3	24,81	139	22,0	70,3	23,0	
E Centrifuge double disque, 24 m	12	4,9	28,96	143	23,0	65,2	24,0	
F Centrifuge double disque, 18-21 m	8	3,3	31,09	150	21,5	66,0	25,0	
B Centrifuge double disque, 10-16 m (dont 76% à 12 m)	25	7,6	25,87	137	20,0	64,3	20,0	
D Pendulaires, 7-12 m	5	5,0	18,96	130	14,0	74,0	16,0	
G Centrifuge double disque, >24 m (récents)	5	1,0	17,41	130,6	12,6	72,5	8,0	
C Pneumatiques, 9-12 m	7	7,8	15,52	140,3	7,0	57,6	2,5	
<b>PUY-DE-DOME 1992 (32 appareils)</b>								
A' Centrifuge monodisque, 9-15 m	5	10,2	34,33	149,0	24,7	60,0	29,6	18,2
B' Centrifuge double disque, 9-15 m (dont 65% à 12 m)	14	10,2	27,06	137,5	20,1	67,5	23,0	17,0
C' Pneumatiques, 12 m	6	9,5	22,57	134,0	16,0	68,4	16,0	16,6
D' Pendulaire, 6-12 m	7	8,9	19,44	132,0	15,0	71,7	15,5	16,0

**TABEAU 3 : Surdosages et sous-dosages observés selon le matériel utilisé dans les exploitations et la pente (coefficients de variation des courbes de recouvrement, taux et surfaces).**

*TABLE 3 : Excessive and insufficient fertilizer applications observed, according to equipment used on the farms and to slope (coefficients of variation of covering curves, rates, and areas).*

## 7. Largeur de travail

On constate que la proportion d'appareils de petite largeur de travail est plus importante sur les pentes qu'en plaine. Sur les pentes, on a 80 % des appareils qui travaillent en 12-15 m ; en plaine, cette proportion tombe à 50 %. L'utilisation d'épandeurs de 12-15 m de largeur de travail sur les pentes tient, en partie, au fait que sur les pentes les parcelles sont de faible taille et soumises la plupart du temps à l'action du vent.

## **8. Dose épandue**

En général, la dose moyenne à épandre est bien respectée. Il n'est pas facile de mesurer la dose exacte à épandre quand l'appareil n'est pas équipé pour effectuer cette opération à poste fixe. Heureusement, les appareils récents le sont. Sur la centaine de cas étudiés, il a été procédé deux fois seulement à des réglages de débit avant d'aller faire l'essai sur le champ. Comment procèdent donc les agriculteurs pour respecter la dose à épandre ? Ils ne font plus appel aux livrets d'utilisation anciens, mais se fient d'une façon générale aux indications qu'ils ont notées sur leur "petit carnet" de poche, relatives aux réglages, aux parcelles et aux engrais.

Les agriculteurs respectent bien la dose déterminée en raison de l'aspect financier : l'engrais coûte cher et il n'est pas question d'en mettre plus que prévu sur la parcelle. Il faut également préciser que les agriculteurs connaissent parfaitement la surface de chaque parcelle, qu'ils ont l'habitude de leur matériel (surtout pour les vieux épandeurs) et que, la plupart du temps, ils mettent sur telle culture à peu près toujours les mêmes doses de l'engrais dont ils ont également l'habitude.

## **9. Influence du type et de l'âge de l'appareil**

L'effet néfaste de la pente que nous venons d'observer est peut-être partiellement causé par l'âge moyen des appareils qui est toujours supérieur dans les essais sur pentes que dans les essais sur terrain plat. Cette différence d'âge est de l'ordre de deux ans et la moyenne d'âge du parc essayé sur les pentes est de l'ordre de 10 ans. Il faut bien remarquer qu'au bout de 10 campagnes, les organes distributeurs des appareils sont usés et devraient être entièrement révisés ou remplacés par des pièces d'origine. Par ailleurs, d'autres facteurs tels que le vent, le positionnement de l'épandeur sur l'attelage 3 points, etc. peuvent intervenir sur la régularité de la répartition transversale des engrais.

Le tableau 3 donne les valeurs des pourcentages de surface dosée à plus de 120 % et les pourcentages de surface dosée à moins de 80 %. Les appareils sont classés par catégorie, largeur de travail, âge. On constate que pour toutes les catégories d'appareils :

- les coefficients de variation sont toujours supérieurs pour les appareils épandant sur les pentes;
- les surfaces dosées à moins de 80 % sont plus importantes sur les pentes qu'en terrain plat.
- les surfaces dosées à plus de 120 % sont légèrement plus importantes sur les pentes qu'en terrain plat :

-21,3 % de la surface épandue en pente (moyenne A' et B', tableau 3) et 20,5 % de la surface épandue en terrain plat (moyenne A et B, tableau 3) pour les centrifuges de 9 à 18 m de largeur de travail et dont les plus répandus sont en 12 m,

- 16% et 7% pour les pneumatiques de 9 à 12 m de largeur de travail,
- 15% et 14% pour les pendulaires de 6 à 12 m de largeur de travail.

On remarquera qu'en plaine ce sont les pneumatiques et les centrifuges de 24 m les plus récents qui présentent les plus faibles surfaces dosées à plus de 120% et que, sur les pentes, ce sont les pneumatiques et les pendulaires qui ont les surfaces dosées à plus de 120% les plus faibles.

## Conclusions

Toutes catégories d'appareils confondues, l'ensemble des mesures réalisées dans le département de l'Allier (terrain plat) et dans le département du Puy-de-Dôme (pentes) montre que 19% des surfaces sur lesquelles sont épandus les engrais minéraux sont dosées à 138% et que 20% des surfaces sont dosées à 66%. L'hétérogénéité de la répartition transversale des engrais épandus est donc importante.

Les résultats sont plus contrastés quand on compare les mêmes catégories d'appareils, en particulier les appareils centrifuges qui sont les plus employés, et font apparaître des différences plus marquées entre terrain plat et terrain en pente. Les coefficients de variation sont supérieurs sur les pentes, bien que sur celles-ci les largeurs de travail utilisées soient plus faibles. Les causes sont multiples : dévers, vent, usure du matériel, vitesses d'avancement différentes entre montée et descente entraînant des vitesses de rotation de prise de force différentes...

Quoi qu'il en soit, les proportions de surface surdosées ou sous-dosées sont source de perte d'intrants et de rendement. Il serait profitable pour l'agriculteur d'épandre même une dose inférieure mais uniformément, en se rapprochant de la valeur de 100% de la dose voulue. Les appareils modernes, ainsi que les appareils pneumatiques, le permettent.

A l'heure actuelle, pour une meilleure gestion des intrants, les agriculteurs doivent veiller à certains paramètres :

- l'âge (souvent élevé) de l'épandeur d'engrais,
- les caractéristiques physiques des engrais,
- les livrets d'entretien et d'utilisation, souvent anciens et non remis à jour (réglages en fonction des engrais),
- les défauts de réglage, de jalonnement en particulier, générateurs de distorsions de la courbe de répartition transversale.

Un moyen simple est mis à leur disposition : c'est la vérification sur le terrain avec des bacs qui permet d'ajuster au mieux la répartition transversale de l'engrais à épandre. Cette méthode est très valable pour améliorer sensiblement la qualité des épandages en zone de plaine.

En revanche, les épandages réalisés en zone de montagne posent des problèmes spécifiques tenant aux effets des conditions naturelles (pente, irrégularité du sol, vent) sur la dose et la qualité de répartition des engrais. Cependant, certaines recommandations peuvent être proposées aux agriculteurs qui épandent des engrais sur les surfaces enherbées en pente :

- éviter de dépasser 12 m de largeur de travail ;
- jalonner impérativement à l'aide d'un pentadécamètre ou tout autre instrument de mesure ;
- remplacer les appareils qui ont plus de 10 ans d'âge ou remplacer les systèmes de distribution par des pièces d'origine ; choisir de préférence un appareil à débit proportionnel à l'avancement (DPA) ;
- utiliser un tracteur quatre roues motrices pour réduire l'angle de dérive sur les trajets en dévers ;
- respecter le régime de rotation de la prise de force ainsi que la hauteur des éléments distributeurs par rapport au sol, indiqués par le constructeur ;
- utiliser des engrais de bonnes caractéristiques physiques.

Ces recommandations ne sont pas exhaustives. Une étude complémentaire est en cours et permettra de mieux comprendre les phénomènes mis en jeu lors d'épandage sur les pentes.

Les épandages de lisier et de fumier sur les terres enherbées sont sujets à de grandes hétérogénéités de répartition transversale des produits ; il est donc important de ne pas aggraver ces défauts de répartition par un épandage d'engrais solide mal contrôlé.

En fait, ce constat a pour but d'attirer l'attention des agriculteurs, des constructeurs et des prescripteurs sur les conséquences qui peuvent être liées à l'épandage des engrais solides azotés.

Accepté pour publication, le 23 février 1994.

**RÉSUMÉ**

La qualité de l'épandage d'engrais minéral solide dépend de nombreux facteurs dont : la méthode de jalonnement utilisée, la vitesse d'avancement du tracteur et le régime de rotation de la prise de force, la hauteur des éléments distributeurs, la vitesse du vent, la pente, la largeur de travail et bien sûr le type et l'âge de l'appareil utilisé. Les études et mesures effectuées par le CEMAGREF dans des exploitations permettent d'évaluer l'impact de ces principaux facteurs sur la répartition de l'engrais épandu. Il ressort globalement que un cinquième des surfaces sont surdosées (à 138% de la dose souhaitée) et que un autre cinquième ne reçoit que 60% de cette même dose. Diverses recommandations sont rappelées.

**SUMMARY**

***The spreading of solid mineral nitrogen fertilizer : an analysis methodology and results***

The quality of the spreading of solid mineral fertilizer depends on several factors, such as : method of marking out, speed of the tractor and rate of rotation of the power point, height of the distributors, speed of the wind, steepness of slope, working width, and of course type and age of the equipment. Technical studies by CEMAGREF on farms give estimates of the effects of these main factors on the distribution of fertilizers. On the whole, it appears that one fifth of the area gets excessive amounts of fertilizers (138% of the desired rate), whereas another fifth gets only 60% of that rate. Various recommendations are given as reminders.