



TRANSFERT DE TECHNOLOGIE EN AGRICULTURE

MADRPM/DERD

• Juillet 2004 •

PNNTA

Éléments de référence pour

Le raisonnement des épandages mécaniques d'engrais

Introduction

Malgré que l'épandage mécanique d'engrais ait été introduit au Maroc depuis fort longtemps, les conditions de sa réussite, dans le contexte propre du pays, n'ont jamais fait l'objet d'études spécifiques. Sur le terrain, la situation donne l'impression que toute la problématique de l'épandage est réduite à sa seule facette mécanique de la maîtrise des réglages du distributeur. Même pour l'utilisateur bien averti, dès lors que les prescriptions de la notice d'emploi, telle qu'elle a été élaborée par le constructeur, sont scrupuleusement respectées (attelage, prise de force, largeur, débit, ...), l'épandage est considéré comme étant bien fait et il n'y a pas à s'en soucier.

Or, le Maroc n'est pas fabricant d'épandeurs mais importe du matériel dont l'étalonnage a été fait ailleurs, avec des engrais qui n'ont pas forcément les mêmes caractéristiques que ceux fabriqués sur place. D'autre part, un bon réglage n'est pas la seule condition de réussite de l'épandage. Encore faut-il maîtriser toutes les étapes qui le précèdent (choix de l'engrais, façon de le stocker, de le transporter, de le mélanger, ...) pour qu'elles ne soient pas des sources primaires d'hétérogénéité, susceptibles d'affecter la qualité de l'opération.

L'homogénéité de l'épandage est très dépendante de la qualité de l'engrais utilisé. Une granulométrie et une densité serrées, une bonne coulabilité du produit dans la trémie et dans le mécanisme de dosage, sont autant de propriétés physiques d'une bonne homogénéité d'épandage. Une granulométrie trop étalée, une densité irrégulière, la présence d'un taux de poussière ou d'agglomérats de reprise en masse élevé, sont par contre des facteurs défavorables à un épandage uniforme.

Aux Domaines Agricoles, il a été décidé en 2003 de reprendre cette question des épandages à la base, en vue d'établir les règles agro-

nomiques de travail pour la société. Le but de ce bulletin est de faire profiter l'utilisateur des premiers éléments complets obtenus dans le cadre de ces essais de normalisation interne.

Produits et Matériels utilisés

Produits testés

Deux groupes d'engrais ont été testés dans les essais réalisés pour l'essentiel en hall, au Domaine de Itto Aomar (Région de Meknès):

- **les engrais fabriqués par l'Office Chérifien des Phosphates (OCP):** le super triple phosphate (TSP), le sulfophosphate d'ammoniaque (ASP), le phosphate mono-ammonique (MAP), le phosphate di-ammonique (DAP) et le 14-28-14C;

- **les engrais importés (EI):** sulfate d'ammoniaque 21% (SA), l'ammonitrate 33,5 (AM), la perlurée 46 (Ur), le super-phosphate normal pulvérulent (SSPp), le chlorure de potasse compacté (KCLc), le sulfate de potasse pulvérulent (SKp) et le sulfate de potasse compacté (SKc),

Les trois principales caractéristiques physiques des engrais testés (densité **d**, diamètre médian **D₅₀**, étalement granulométrique **EG**) sont présentées dans le tableau 1.

Matériels testés

Les essais ont été réalisés avec l'épandeur centrifuge monodisque. C'est un appareil de conception simple. Il est constitué d'une trémie en forme de cône, d'une capacité de 500 kg, d'un système d'alimentation et de dosage par gravité (volet réglable) et d'un système de projection animé par la prise de force (disque muni de 4 pales identiques orientables).

Quelques essais complémentaires ont été réalisés avec le bidisque (épandeur porté, trémie de 650 kg de capacité, système d'alimentation et de dosage par trappe réglable, système d'éjection formé d'un double disque animé par la prise

SOMMAIRE

n° **118**

Fertilisation

- Produits et matériels testés.....p.1
- Mélange et transport d'engrais..... p.2
- Etalonnage de l'épandeur centrifuge.....p.3
- Recherche de la largeur optimale..... p.3
- Détermination du débit de l'épandeur.....p.4

de force) et avec l'épandeur pneumatique à rampe (épandeur porté, trémie de 850 kg de capacité, rampe d'une largeur de travail de 12 m équipée de 12 tubes en PVC espacés de 0,75 m).

Pour l'étude des vitesses, deux types de tracteur ont été également testés: un deux roues motrices (2RM, moteur de 4 cylindres, puissance P = 72 ch) et un quatre roues motrices (4RM, moteur de 4 cylindres, puissance P = 95 ch).

Résultats et discussions

Éléments de référence sur les engrais

Qualité des produits

Aux Domaines Agricoles, l'interruption des programmes des épandages d'engrais sur les céréales en années sèches, oblige à garder parfois d'importantes quantités d'engrais en stock. De ce fait, la reprise en masse des produits reste le phénomène majeur à gérer en matière de qualité. Dans la présente étude, le problème a été suivi sur l'ammonitrate (l'un des produits les plus sensibles à ce phénomène) stocké en piles de 1,45 m de hauteur durant 24 mois puis repris pour l'épandage après re-pilonnage.

Le premier inconvénient de la reprise en masse est le temps que demande le re-pilonnage du produit lorsque le travail est fait à la main (4h30 min/t), le second est d'ordre écono-

Tableau 1: Caractéristiques physiques des engrais testés

	Engrais											
	TSP	ASP	MAP	DAP	14-28-14 C	SA	Ur	AM	SSPp	KCLc	SKp	SKc
D	1,17	1,00	0,95	1,07	1,08	1,10	0,82	1,05	1,02	1,15	1,52	1,42
D₅₀	2,10	2,50	-	1,75	2,50	-	0,60	1,50	-	3,10	-	2,60
EG	1,0-2,7	1,8-3,3	-	1,1-2,8	1,5-3,0	-	0,1-1,6	1,0-2,0	-	2,1-4,6	-	1,3-4,3

D: densité (kg/dm³); D₅₀: diamètre médian (mm); EG: Étalement granulométrique (mm)



mique (le coût est de 21 Dh/t pour que le produit retrouve partiellement son état physique initial), et le troisième est d'ordre technique pour la qualité des épandages (répartition plus hétérogène derrière le tracteur, figure 1).

Modalités de mélange et de transport

Comportement des divers types de mélange

Du fait de sa souplesse d'emploi (possibilité de composer toute sorte d'équilibre NPK sur place, application de la fumure en un seul passage), le mélange en vrac ou "bulk blending" est d'une utilisation très fréquente aux Domaines Agricoles, pour apporter la fumure de fond. Il est parfois directement commandé aux fabricants, mais le plus souvent préparé à la ferme sur une bâche, sur une remorque plateau en tête de parcelle ou dans la trémie même au moment de l'utilisation. Le tableau 2 donne les divers types de mélange testés dans cette étude en vue de fixer les normes d'épandage du "bulk blending".

Tableau 2: Liste des mélanges testés au Domaine Agricole Itto Aomar

	Bulk binaire pulvérulent + granulé	Bulk binaire granulé	Bulk ternaire granulé
Produits	MAP + TSP	Ur + DAP	AM + DAP + SKc
	SKc + SKp		Ur + DAP + KCLc

Du fait de leur incompatibilité granulométrique, le bulk composé en mélangeant entre eux, engrais pulvérulent et engrais granulé est à proscrire. Le plus grave est le "faux bulk" réalisé directement dans la trémie, pour aller plus vite, en disposant les produits en couches simples ou alternées (Figure 2).

Qu'il soit versé premier ou second dans l'épandeur, le produit pulvérulent est toujours achevé le premier, sauf pour le SKp. Le "vortex" créé au centre de la trémie par l'agitateur (appel par le milieu) n'améliore que très peu la qualité du mélange et par conséquent celle de l'épandage. L'équilibre de dosage entre produits n'est atteint que tardivement (après 6 ou 8 min ou en fin de vidange). Il s'inverse ensuite rapidement ou dure très peu, de sorte que globalement l'épandage reste de mauvaise qualité.

A l'épandage, un mélange binaire granulé/pulvérulent disposé en couches dans la trémie donne une hétérogénéité globale extrême ($110 < CV < 250 \%$) correspondant en fait à une répartition de produits par bandes:

- bande continue ne recevant que du granulé du fait que ce dernier est projeté sous l'action du disque, plus loin qu'un produit pulvérulent;
- bande sur-dosée en pulvérulent et sous dosée en granulé durant les premiers moments de l'épandage;
- bande sur-dosée en granulé et sous dosée en pulvérulent en fin d'épandage.

En cas de granules, l'hétérogénéité à l'épandage est également importante si les produits sont disposés en couches épaisses ($30 < CV < 88 \%$ selon le produit). La qualité de l'épandage s'améliore par contre de façon sensible ($24 < CV < 40 \%$) en cas de plusieurs couches fines alternées ou de mélange manuel au sein de la trémie (figure 3).

Conditions de préparation d'un bon bulk

Pour préparer rapidement le mélange d'engrais (bulk) dans les grandes propriétés, la mécanisation est incontournable. Les essais menés au Domaine Itto Aomar ont montré qu'avec une bétonnière classique, actionnée par un moteur électrique, un mélange homogène est obtenu au bout de 2 min (figure 4), à condition de ne pas dépasser la moitié de la capacité de la bétonnière (soit 200 kg pour une capacité de 400 kg). Au delà, le bulk est de moins bonne qualité, faute d'un brassage suffisant des produits au fond de la machine.

La préparation manuelle du bulk sur une bâche, quoique plus lente, est également possible. Mais la masse de référence de 500 kg recommandée jusqu'ici aux Domaines Agricoles (sur la base d'appréciations purement visuelles), pour réaliser le mélange, donne un bulk de qualité plutôt irrégulière, même en prolongeant la durée de l'opération. Les meilleurs résultats sont obtenus en procédant par petits lots successifs de 3 ou 4 sacs (3 par 3 ou 4 par 4) avec homogénéisation de 5 à 10 min.

Effet des conditions de transport

En l'absence de secousses, le transport d'un bulk soigneusement préparé à la ferme, sur de

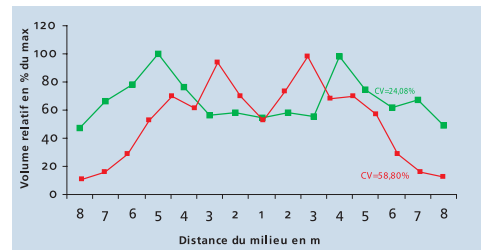


Figure 1: Courbe de répartition de l'ammonitrate normal (en vert) et après reprise en masse (en rouge) derrière un épandeur centrifuge monodisque

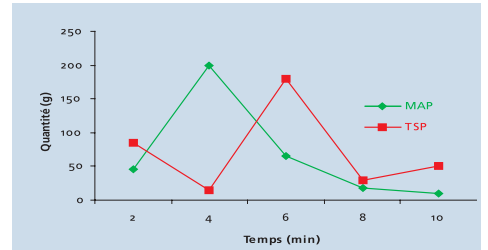


Figure 2: Évolution de l'épandage de bulk MAP + TSP

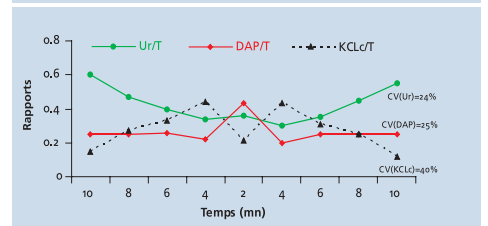


Figure 3: Évolution des quantités épandues de produits disposés en couches alternées

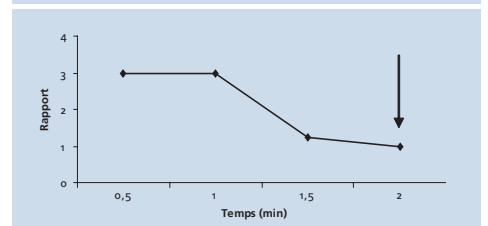


Figure 4: Homogénéisation du Bulk en fonction du temps de mélange dans une bétonnière

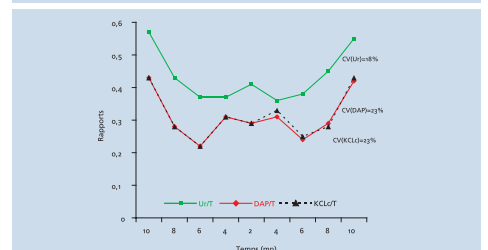


Figure 5: Effet des secousses sur l'uniformité de l'épandage de bulk ternaire

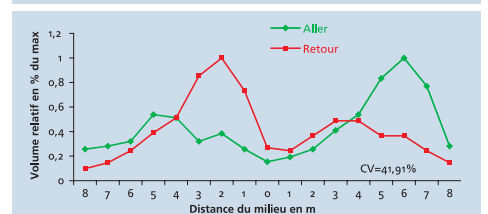


Figure 6: Effet du dévers sur la qualité des épandages de l'ammonitrate HD

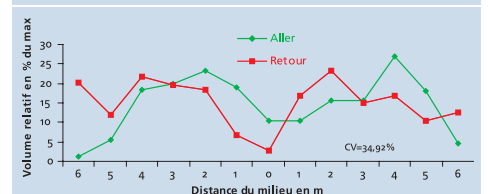


Figure 7: Effet de la déformation du disque sur la qualité des épandages de l'urée



petites distances (moins de 1 km), que ce soit en sacs ou dans l'épandeur même, est sans grande influence sur la qualité de l'épandage. Ce n'est plus le cas dès lors que l'épandeur est soumis à de fortes secousses (figure 5), dues par exemple à un état de surface très motteux. Même sur une faible distance, il peut y avoir ségrégation des produits, avec une incidence négative sur la qualité des épandages.

Manifestement, le bulk avec le risque minimum de ségrégation est celui préparé en tête de parcelle sur une remorque plateau et déversé aussitôt dans l'épandeur, la remorque avançant au fur et à mesure avec l'épandeur, le long de la parcelle.

Éléments de référence sur le matériel

Effet des mauvais réglages élémentaires

Le premier réglage élémentaire à surveiller est celui de l'attelage épandeur/tracteur. Le non respect de la symétrie par rapport à l'axe du tracteur (axe de l'épandeur déporté), de la hauteur (appareil trop haut, trop bas), de l'horizontalité (appareil en dévers, trop penché vers l'avant ou vers l'arrière), sont autant de facteurs d'influence sur la qualité des épandages. Il en est de même lorsque l'épandeur est en mauvais état (disque déformé, pâles déformées ou trop usées,...). Les figures 6 et 7 donnent le type de dissymétrie et l'extrême hétérogénéité des épandages dus au non respect des réglages élémentaires de l'attelage (ici dévers exagéré) et à des défauts sur une pièce maîtresse (ici disque déformé). Les Coefficients de Variation obtenus (35 à 42 %) sont pratiquement de 1,4 à 1,8 fois la valeur obtenue en conditions normales d'épandage de l'Ammonitrate.

Étalonnage de l'épandeur centrifuge

Les quatre éléments qui interviennent dans l'étalonnage d'un épandeur centrifuge sont la dose Q à épandre, la vitesse V avec laquelle évolue le tracteur, la largeur L d'épandage, le débit D de l'appareil et la superficie S à fertiliser. Ces paramètres sont reliés par l'équation simple ($D = Q VL/S$).

En mode d'expression usuel avec Q en kg/ha, V en km/h, L en m et S en ha, la relation de calibrage ci-dessus devient $D(kg/min) = QVL/600$.

Détermination de la dose Q

La détermination de la dose d'engrais Q à épandre est du ressort du spécialiste en fertilisation. Q est fonction de l'élément considéré (azote, phosphore, potasse), de la culture envisagée (céréale, légumineuse, betterave,...), du niveau de productivité réalisable dans la zone (élevé, moyen, médiocre) et du mode d'apport (totalement bloqué, fractionné). Des logiciels ont été mis au point dans le contexte marocain depuis déjà une dizaine d'années et peuvent être utilisés pour le calcul

des plans de fumure, que ce soit pour les agrumes ou la grande culture. Pour les problèmes d'épandage que nous traitons dans la présente étude, la valeur de Q est sans grand intérêt, pourvu qu'elle soit raisonnable et couverte par la gamme de doses pour laquelle l'appareil a été calibré au départ par le constructeur.

Détermination de la vitesse V

Méthode de détermination et règles à respecter

Pour des impératifs liés au confort du conducteur, à sa sécurité, voire à la sécurité du matériel lui-même, la vitesse d'avancement V doit être choisie *in situ*, la trémie de l'épandeur à moitié chargée. La détermination en est faite sur une distance de 100 m en répétant l'aller retour 2-3 fois, la rotation de la prise de force étant calée sur 540 tr/min et le rapport choisi au niveau de la boîte de vitesse maintenu constant. Le tableau 3 donne les résultats obtenus sur ce point à Itto Aomar.

La vitesse avec laquelle le tracteur peut évoluer sur le terrain (V) est manifestement plus grande pour un épandage en terrain plat, que pour un épandage en pente ou le long des courbes de niveau. La vitesse à adopter est également plus grande sur un état de surface affiné que sur un terrain motteux ou pierreux. En sol trop argileux travaillé à sec à la charrue à socs, l'épandage s'avère parfois même quasi impossible du fait des gros blocs soulevés par cet outil. Il faut, soit attendre l'arrivée des premières pluies, soit faire appel à un rouleau pour briser les mottes.

Facteurs influant sur V

Les essais menés à Itto Aomar sur cet aspect, montrent que même à rapport et à accélération constants, V reste légèrement influencée par le type de tracteur. La vitesse est globalement plus régulière avec un 4RM qu'avec un 2RM, sauf le long des courbes de niveau où il y a égalité de performances entre les deux. Bien évidemment, le faible écart constaté n'a qu'un intérêt pratique limité. Il n'est pas question de chercher à s'équiper en tracteur 4RM (quant on n'en a pas) ou à l'affecter en priorité aux épandages (quand d'autres travaux plus importants tels que les labours attendent) sous prétexte qu'il y a une petite amélioration de la qualité des épandages.

On note également un effet net de la pente (effet de régulation de la pompe d'injection en montée) et de l'état de surface du sol (régularité meilleure en terrain plat qu'en terrain en pente, en sol sec qu'en sol humide).

Recherche de la largeur optimale

Avec un épandeur centrifuge, la répartition transversale de l'engrais (dans le sens perpendiculaire à l'avancement), n'est pas uniforme mais dégressive. Plus on s'éloigne de l'axe du

Résumé

On présente les éléments de référence obtenus dans le cadre des recherches appliquées, réalisées dans les Domaines Agricoles sur les épandages mécaniques d'engrais. Ces éléments montrent qu'un épandage raisonné, prenant en compte le triple souci de la productivité, du coût économique et du respect de l'environnement, requiert:

- un engrais de qualité (non souillé, de densité homogène, de granulométrie serrée), mélangé de préférence en tête de parcelle en cas de "bulk blending";
- l'application des règles élémentaires d'attelage épandeur/tracteur (stabilité, hauteur, horizontalité de l'appareil);
- l'adoption d'une vitesse d'avancement du tracteur compatible avec les caractéristiques du terrain (en pente, plat, motteux, meuble,...), et les impératifs de confort et de sécurité conducteur/matériel;
- le respect d'une largeur de travail optimale spécifique à chaque type d'engrais afin d'obtenir une meilleure uniformité d'épandage ■.

Tableau 3. Choix de la vitesse d'épandage des engrais en fonction des conditions du terrain et du type de tracteur utilisé (km/h)

	Terrain plat affiné	Terrain en pente	Le long des courbes de niveau	Terrain plat motteux
Tracteur 4RM	10-12	6-7	6-7	5-7
Tracteur 2RM	8-10	5-6	5-6	5-6

Tableau 4: Largeur maximale Lm (m) et largeur optimale Lo (m) d'épandage des principaux engrais utilisés au Maroc (Centrifuge monodisque et Centrifuge bidisque)

Lm (m)	Produits	Lo (m)	Produits
Centrifuge monodisque			
10	SA; SSPp; SKp; MAP	7	SA; SSPp; SKp; MAP
16	Ur	10	Ur
20-22	AM; ASP; DAP	11-12	AM; TSP; ASP; DAP; 14-28-14C
24	TSP; KCLc; SKc; 14-28-14C	14	KCLc; SKc
Centrifuge bidisque			
12	SA; SSPp; SKp; MAP	9	SA; SSPp; SKp; MAP
20	Ur	12	Ur
22-24	AM; ASP; DAP	13-15	AM; TSP; ASP; DAP; 14-28-14C
24-26	TSP; KCLc; SKc; 14-28-14C	16	KCLc; SKc

Tableau 5: Relation entre débit (kg/min) et ouverture de la trappe de dosage (cm) pour différents groupes d'engrais (monodisque)

Groupe d'engrais	Pentes	Ordonnées à l'origine
SSPp	8,7	-21,7
TSP, Ur, KCLc, DAP, ASP, 14-28-14C	15 à 17	-39 à -37
SA, AM, SKp, MAP	18 à 19	-44 à -37
SKc	28,3	-72,3



Epandeur centrifuge bidisque



Respect de la largeur du travail (jalonnage obligatoire)

tracteur, plus la dose diminue. D'où la nécessité, pour obtenir un épandage homogène, d'un recouvrement partiel entre la bande B1 fertilisée à l'aller et la bande B2 fertilisée au retour.

Le tableau 4 présente les largeurs maximales et optimales obtenues dans les essais en hall au Domaine Itto Aomar. Les valeurs dépendent des caractéristiques physiques des produits. Elles sont plus faibles pour les produits pulvérulents et plus importantes pour les produits compactés à gros grain dense. Lm et Lo sont également influencées par le type de matériel (le bidisque donnant tout naturellement des largeurs supérieures que le monodisque).

Pour le mono-disque (type d'appareil plus courant aux Domaines Agricoles en raison de son faible prix d'achat), les résultats obtenus permettent en outre de classer globalement les largeurs optimales d'épandage des produits en 4 groupes:

- **Groupe 1** à largeur d'épandage optimale faible (**L = 7 m**), formé par les trois produits pulvérulents (SSPp, SKp, MAP) et le produit cristallisé (SA);
- **Groupe 2** à largeur d'épandage optimale égale à **10 m**, formé par la perlurée;
- **Groupe 3** à largeur d'épandage optimale entre **11 et 12 m**, formé par les cinq autres granulés testés (AM, TSP, ASP, DAP, 14-28-14C);
- **Groupe 4** à largeur d'épandage optimale de **14 m** formé par les deux produits compactés (KCLc, SKc).

L'hétérogénéité d'épandage obtenue avec le monodisque après recouvrement, reste globalement élevée par rapport aux normes en usage en Europe. Des écarts particulièrement importants existent également entre les indications fournies par la fiche de réglage de ce matériel et les tests réels d'optimisation de la largeur de travail sur le terrain (14 m contre 22 m pour les granulés à gros grain et 12 m contre 18 m pour les granulés à grain moyen). La notice du constructeur donne l'impression de privilégier le rendement de la machine (plus d'ha par jour).

Le niveau d'hétérogénéité, après recouvrement, reste par contre globalement voisin de la norme pour l'épandeur bidisque testé, sans pour autant atteindre les nouvelles performances (CV < 7 % pour l'urée et l'ammonitrate) avancées par cette entreprise sur ses nouveaux matériels mis récemment sur le marché.

Détermination du débit de l'épandeur D

Une fois la dose Q, la vitesse d'avancement V et la largeur de travail L choisies, le débit (en kg/min) se déduit directement de la relation précédente ($D = QVL/600$).

La relation débit/ouverture de la trappe de dosage est une relation à peu près linéaire mais avec des pentes et des ordonnées à l'origine différentes, en rapport avec la nature ou plus exactement avec la coulabilité du produit. Le tableau 5 présente les pentes et les ordonnées à l'origine types par groupe de produits, obtenues dans le cadre de la présente étude.

Ce débit est sensiblement influencé par la hauteur du produit dans la trémie. Pour l'ASP, le MAP, le DAP et le 14-28-14C, l'effet hauteur est régi par le modèle quadratique commun:

$$D \text{ (kg/min)} = 0,0867 H \text{ (%) } - 0,0005H^2 + 8,4185$$

Ce résultat suggère, pour avoir un débit constant, soit d'alimenter constamment l'épandeur au travail pour que son niveau ne baisse pas

trop, soit de disposer d'épandeur équipé de volet de dosage à commande différentielle assisté par ordinateur, comme celui proposé en agriculture de précision.

Pour la pratique agricole, qui nous préoccupe le plus ici, la détermination de D est souvent facilitée par la notice de réglage du constructeur. En l'absence de cette notice, D peut être déterminé par tâtonnement et approximations successives, en faisant varier l'ouverture depuis le minimum et en pesant l'engrais correspondant récolté dans un bac. Avec 5 ou 6 points de référence, D est donné soit par la méthode graphique soit par interpolation linéaire.

Le cas particulier de l'épandeur pneumatique à rampes

Que le produit soit pulvérulent, compacté ou granulé, l'uniformité d'épandage obtenue avec ce matériel est irréprochable (tableau 6). L'appareil est en outre simple à régler et d'une utilisation très facile (largeur de travail fixe et égale à celle de la rampe, facile à contrôler, homogénéité remarquable et moins influencée par la forme de l'engrais, par le vent,...). Malheureusement, dans le contexte Marocain, cet épandeur n'a pas rencontré le succès attendu. Introduit aux Domaines Agricoles dans les années 1985, il n'a pas pu résister devant les appareils centrifuges en raison de son coût élevé (48.882 Dh en 1986 contre 2500 Dh pour un appareil centrifuge monodisque), de son rendement plus faible, de sa fragilité (usure rapide des tubes, des joints,...), et de son inadaptation aux terrains accidentés. Le coût de maintenance et le manque de pièces de rechange n'avaient pas joué non plus en sa faveur.

Tableau 6: Variabilité de la répartition transversale des engrais derrière l'épandeur pneumatique à rampes

	Sulfate de potasse pulvérulent	Sulfate de potasse granulé	Urée
Nombre de mesures	16	16	16
CV (%)	3,5	3,3	2,8

Synthèse et conclusions

L'enquête menée dans la région du Gharb à l'occasion de la présente étude a montré la forte carence des exploitations en équipements d'épandage, doublée d'une insuffisance de la maîtrise des réglages lorsque le matériel existe sur l'exploitation (souvent le réglage reste grossier et ne respecte pas de façon complète les bases agro-mécaniques requises: type d'engrais, sa qualité, calibrage de la vitesse, choix judicieux de la prise de force, de la largeur d'épandage, ...). Ce fait dénote l'ampleur de l'effort qui reste à faire au Maroc, en matière d'équipements d'épandage d'engrais (et d'équipements agricoles en général) et de leur maîtrise technique.

Quand on connaît l'extrême hétérogénéité de l'épandage manuel, on est étonné que l'apport de l'azote de couverture sur les cultures (un élément très polluant) soit encore presque exclusivement fait à la main, même dans les propriétés équipées en matériel d'épandage.

Apporter la dose globale adéquate ne suffit pas pour atteindre les objectifs d'une fertilisa-



Epandeur pneumatique à rampes

tion raisonnée. Encore faut-il qu'un mauvais épandage n'en limite pas l'efficacité par endroit (en créant des zones sous fertilisées entraînant de la sous productivité) ou ne conduise pas à des gaspillages par endroit (en créant des zones sur fertilisées sans incidence positive ni sur la productivité ni sur la qualité). Mais le plus grave, en cas de mauvais épandage, reste le danger pour l'environnement à terme des migrations des reliquats d'engrais, azotés en particulier.

Comme de nombreux résultats récents d'analyse des eaux de la nappe souterraine en témoignent au Maroc, on n'est plus au stade de la prévention des dangers des excès d'engrais sur l'environnement mais à un stade bien avancé, voire inquiétant dans certaines zones vulnérables telle que la côte atlantique (200 mg/l de NO₃⁻ contre 50 mg/l recommandées par l'OMS en cas d'utilisation de l'eau à des fins domestiques).

Il y a donc une nécessité impérieuse à améliorer d'urgence les pratiques actuelles de fertilisation, entre autres par une amélioration de la qualité des épandages.

Ce travail a été une occasion pour apporter à l'utilisateur marocain les premières réponses chiffrées aux interrogations pratiques sur les conditions d'un épandage raisonné (relation entre qualité de l'engrais et qualité de l'épandage, comment préparer son bulk, le transporter, comment régler son épandeur, quelle largeur retenir en fonction de la nature du produit pour optimiser l'apport ...). Il a été aussi une occasion pour caractériser les engrais du Maroc fabriqués par l'OCP (MAP, DAP, ASP, TSP, 14-28-14C) vis à vis des exigences des épandages.

Enfin, sur un plan général (et au delà des chiffres), la recommandation la plus importante à retenir de ces recherches est l'obligation pour le Maroc d'un contrôle des technologies agricoles importées de l'étranger, au moment de leur première introduction, en vue de s'assurer de leur efficacité dans le contexte local. Pour le monodisque testé, nous avons été surpris par les écarts constatés entre les largeurs de travail recommandées par la notice du fabricant et les largeurs optimales réelles déterminées sur le terrain; un élément pourtant déterminant de la qualité des épandages (14 m contre 22 m pour les granulés à gros grain et 12 m contre 18 m pour les granulés à grain moyen). Ceci démontre qu'un calibrage, même lorsque celui-ci est fait dans les règles de l'art dans le pays d'origine, n'est pas forcément le meilleur calibrage dans un autre contexte ■.

Prof. Abdelhadi AÏT HOUSSA¹,

A. ZARI² et Prof. M. EL MIDAOUÏ¹

¹Département d'Agronomie

Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès

²Ingénieur stagiaire, Domaines Agricoles du Gharb