

## Mise au point d'un prototype de localisateur d'engrais à dos

Abdelhadi Aït Houssa, Hamid Al-Babaallal, Kacem Graïma

Sur plantes sarclées (maïs, betterave, etc.) à un stade avancé de leur cycle, l'utilisation du tracteur, même équipé de roues étroites, pour l'épandage d'engrais azotés en couverture (sulfate d'ammoniaque, ammonitrate, urée), n'est pas envisageable, en raison des dégâts importants occasionnés à la culture. C'est pourquoi, dans les domaines agricoles du Gharb, cet épandage est réalisé de façon manuelle, ce qui exige, du fait de la grande superficie concernée, une main-d'œuvre importante. Cependant, cet apport à la main n'est pas sans inconvénients. Il soulève en particulier deux problèmes majeurs :

– le premier concerne le confort et la santé de l'opérateur : chantier pénible où l'ouvrier doit travailler dos courbé toute la journée avec des risques de lombalgie (mal de dos) aiguë ou chronique chez les sujets sensibles [1-4] ;

– le second pour la qualité du travail : épandage manquant de précision et impossible à étalonner.

En tant que producteur de maïs et de betterave, directement concerné par ces problèmes d'épandage tardif d'engrais azotés, les domaines agricoles du Gharb

ont choisi de mettre au point un prototype d'épandeur portable (localisateur, plus exactement) pour faciliter la tâche des ouvriers. L'appareil doit permettre de travailler debout tout en assurant l'apport d'engrais souhaitable au pied de la plante, grâce à un système de distribution approprié et réglable.

### Description de l'appareil

Une attention particulière a été portée à l'étude ergonomique (poids, maniabilité, déplacement cuve pleine, etc.) du prototype de localisateur avec, comme contrainte, une utilisation intensive de ce matériel pendant toute une journée. Sa conception générale (forme de la cuve, système de distribution, type de bretelles, etc., *figure 1*) est, à quelques détails spécifiques près, semblable à celle d'un pulvérisateur à dos classique pour produits liquides. Au stade actuel, encore expérimental, l'appareil est fabriqué en tôle inoxydable. Il a un volume de 30 l environ et un poids à vide de 6 kg, poids représentant 32,57 kg de sulfate d'ammonium 21 %, 28,46 kg d'ammonitrate HD 33,5 % ou 21,58 kg d'urée 46 %.

Le système de distribution retenu fonctionne par simple gravité. Il est composé d'un fond de cuve en forme de cône permettant une évacuation totale de la charge de l'appareil en fin de course (contrairement à une cuve à fond plat), d'une rotule en acier à angle réglable par rapport à la verticale pour permettre une localisation plus facile au niveau des racines, d'un tube de descente télesco-

pique en PVC (diamètre extérieur  $\varnothing 1 = 32$  mm, diamètre intérieur  $\varnothing 2 = 25$  mm) d'une longueur de 1,2 m et d'une série de 17 buses (rondelles en acier) interchangeables dont le diamètre de l'orifice de sortie s'étage de 6 à 14 mm, par pas de 0,5 mm.

### Étalonnage de l'appareil en vue de son utilisation

#### Équation d'étalonnage de base

Pour un appareil monobuse et une modalité d'apport classique où l'engrais est réparti sur toutes les lignes de la parcelle (ligne après ligne), cinq paramètres sont à prendre en compte pour opérer l'étalonnage du localisateur :

– les paramètres agronomiques : dose d'engrais à apporter ( $D$ ) et écartement interrangs ( $E$ ) ;

– la cadence (vitesse d'avancement  $V$ ) avec laquelle l'opérateur a choisi d'évoluer sur le terrain ;

– le débit de l'appareil  $Q\alpha$ , fonction du diamètre de l'orifice de sortie de la buse  $\varnothing$ , de l'angle de descente de l'engrais  $\alpha$  et de la nature de l'engrais lui-même (sulfate d'ammoniaque, ammonitrate, urée, autres).

Ces paramètres sont reliés par l'équation d'étalonnage générale suivante :

$$D = [Q\alpha / (V * E)] * 10 \quad (1)$$

A. Aït Houssa : Département d'agronomie, École nationale d'agriculture de Meknès, BP S/40, Meknès, Maroc.

H. Al-Babaallal : Domaines agricoles du Gharb, route de Dar-Belamri, Sidi Slimane, Maroc.

K. Graïma : Atelier central, Domaines agricoles du Gharb, route de Dar-Belamri, Sidi Slimane, Maroc.

Tirés à part : A. Aït Houssa

Thèmes : Économie et sociologie rurale.

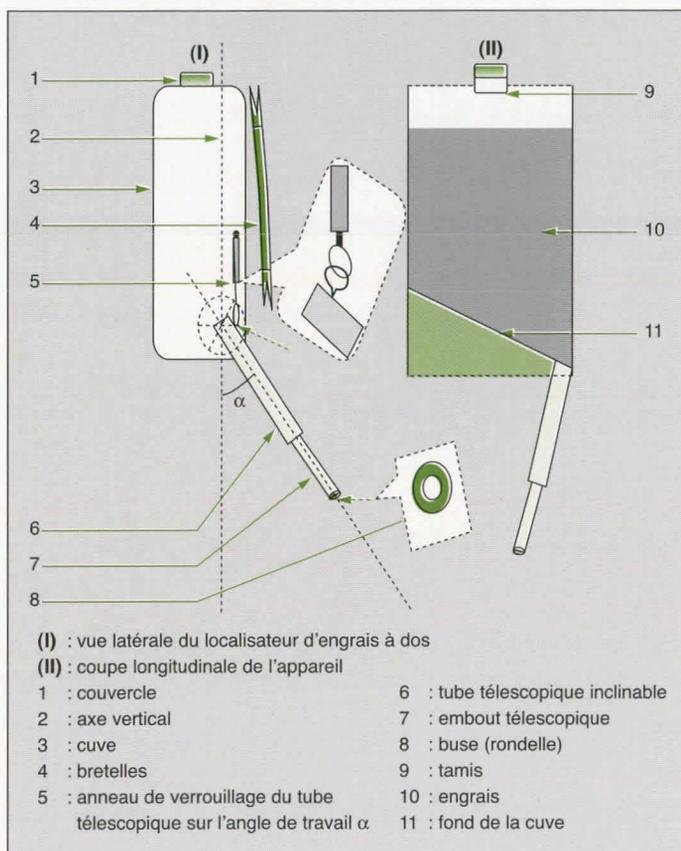


Figure 1. Schéma du localisateur.

Figure 1. Drawing of the localizer.

jumelées. Selon les espèces et leurs autres exigences techniques (irrigation, traitements, etc.), sont retenus tantôt les écartements serrés (40 à 50 cm), tantôt les grands écartements (70 à 80 cm).

En ce qui concerne les apports d'engrais azotés en couverture sur ces cultures, la dose conseillée par application, tout comme la dose totale, n'est pas figée. Elle est susceptible de variation dans de larges limites (entre 50 et 200 kg/ha), en fonction de nombreux paramètres (culture, reliquat azoté du sol, rendement escompté, nature de l'engrais, etc.). Pour les besoins de l'étude, cet intervalle a été élargi et porté à plus de 500 kg/ha afin de donner une plus grande marge de manœuvre à l'utilisateur.

### Recherche des cadences de référence

Les tests de cadence ont été réalisés d'abord sur banc d'essai (opérateur perpétuant sa navette sur une courte distance) et complétés ensuite en plein champ. En conditions de travail libre (opérateur travaillant seul et non avisé des objectifs de calibration poursuivis par l'étude), les résultats obtenus confirment (avec un avantage, celui des chiffres) les observations habituelles de tous les jours sur le terrain : la cadence de travail est fonction de la personne (taille, endurance), de la période de la journée (l'opérateur est plus stimulé le matin que l'après-midi), des conditions climatiques (plus dynamique par temps frais que sous un soleil écrasant), et des conditions de terrain (sol sec ou détrempé, meuble ou cohérent, plat ou en forte pente). L'étude en plein champ montre également que des objectifs de cadence trop élevée par rapport à la capacité réelle de la personne ne sont pas compatibles avec les objectifs d'une bonne homogénéité des épandages. Une cadence élevée affichée le matin (opérateur encore en pleine forme) ou en début d'après-midi (après avoir repris son souffle) a toujours tendance à diminuer (figure 2) vers une valeur asymptotique caractéristique ( $V_{ac}$ ). On retrouve ainsi les notions de force maximale et de force critique développées depuis fort longtemps dans le domaine des études fondamentales sur l'ergonomie par la médecine du travail [5].

Sur le plan agronomique, c'est à l'évidence, cette tendance asymptotique caractéristique,  $V_{ac}$ , qui nous intéresse le plus (comme on le montrera plus loin) si l'on veut calibrer les épandages d'engrais dans les chantiers.

où :

D est exprimé en kg/ha,

$Q\alpha$  en gr/min pour un angle de descente  $\alpha$ ,

V en m/min et E en m.

Pour une situation bien définie, D et E sont des données fixes ( $D = Cte$ ,  $E = Cte$ ). Pour opérer l'étalonnage de l'appareil en vue d'apporter la dose D, on doit trouver la solution de l'équation à 2 inconnues (1) ci-dessus (rechercher V en fixant  $Q\alpha$ , ou bien rechercher  $Q\alpha$  en fixant V). Mais à ce stade, l'exploitation de cette formule de calibrage reste encore malaisée pour l'utilisateur. La formule ne précise pas la procédure d'étalonnage : forme de buse, angle  $\alpha$  de référence, relation entre  $\emptyset$  et  $Q\alpha$ , stabilisation de V. Cette tâche revient donc à l'utilisateur, alors qu'elle est du ressort du fabricant de l'appareil.

D'où l'intérêt pour faciliter la tâche au praticien, d'exposer dans ce qui suit, la procédure complète de calibration en poussant le raisonnement jusqu'à la mise au point d'abaques par type d'engrais, permettant une lecture directe des paramètres d'étalonnage qui recouvrent l'éventail des situations possibles de D, V et E sur le terrain.

## Essais d'étalonnage et résultats obtenus

### Produits testés

Les expérimentations ont été réalisées sur banc d'essai à poste fixe à l'Atelier central des domaines agricoles du Gharb et complétées ensuite sur le terrain à la ferme de *Itto Aomar* (région de Aïn Jemaa) sur cultures de betterave et de pois chiche. Les engrais testés sont le sulfate d'ammoniaque cristallisé 21 % (densité  $d = 1,0856 \text{ g/cm}^3$ ), l'ammonitrate HD 33,5 % ( $d = 0,9485 \text{ g/cm}^3$ ; 71 % de granulométrie entre 2 et 4 mm et 28 % entre 1 et 2 mm) et l'urée 46 % ( $d = 0,7195 \text{ g/cm}^3$ ; 73 % de granulométrie entre 2 et 4 mm et 26 % entre 1 et 2 mm). Il s'agit de produits de fabrication récente, d'excellente qualité physique, sans la moindre trace de prise en masse ou de corps étrangers.

### Écartements

#### et doses d'engrais de référence

Aux domaines du Gharb, les cultures sarclées sont généralement semées en lignes simples et très rarement en lignes

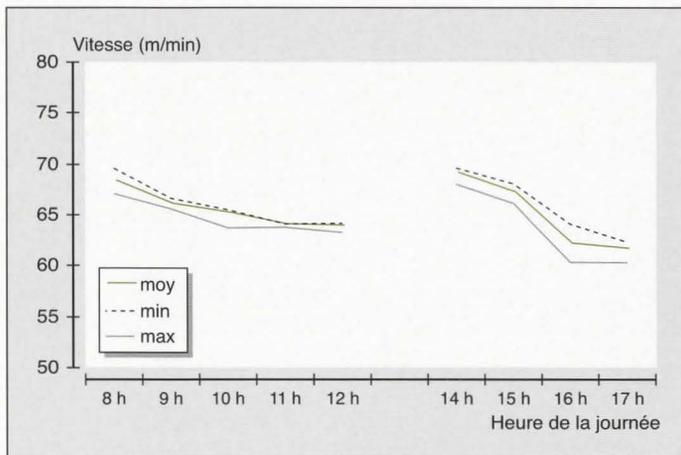


Figure 2. Évolution de la vitesse d'avancement au cours de la journée.

Figure 2. Variation of progress speed through the day.

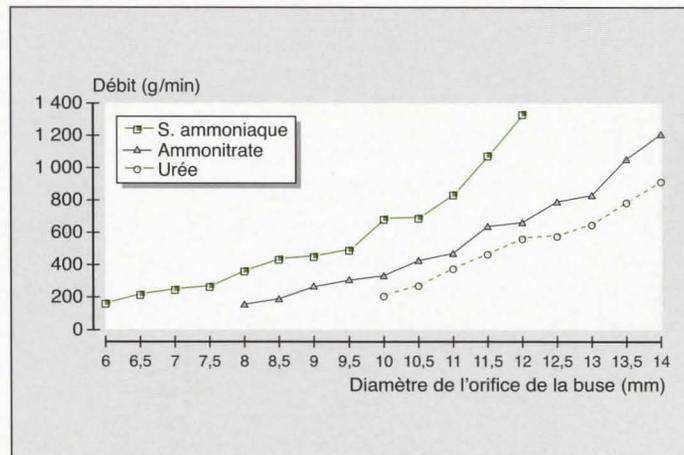


Figure 3. Relation Débit/Buse.

Figure 3. Output/Nozzle ratio.

Pour les terrains en pente ( $p > 5\%$ ), l'étude montre également la nécessité d'un double étalonnage pour tenir compte de l'effet « accélérateur » de la pente pendant la descente et « retardateur » pendant la montée [ $V = (V_{\text{descente}} + V_{\text{montée}})/2$ ].

D'autre part, les mesures réalisées dans le cadre de la présente étude ayant été faites à une époque de l'année où seules les cultures basses (betterave, pois chiche), étaient en végétation, pour le praticien, il y a lieu d'inclure par la suite, au moment de l'étalonnage de cadence, la résistance opposée par les plantes hautes (maïs, sorgho, tabac, etc.) au passage de l'opérateur au milieu des lignes, ce qui suggère pour les plantes hautes, l'idée d'un étalonnage à blanc *in situ* et non à l'extérieur du champ.

Dans les limites de l'effectif relativement réduit (14 personnes : 7 hommes et 7 femmes), soumis au test dans la présente étude, sur le plan de la cadence de travail qu'un opérateur peut développer, il ne semble pas y avoir de supériorité du sexe masculin sur le sexe féminin : les femmes semblent aussi performantes que les hommes pour les épandages.

D'une manière générale, les valeurs expérimentales moyennes de cadence relevées sur le terrain (toutes sources de variation confondues) se situent entre 50 et 70 m/min. Pour les besoins de l'étude, là aussi l'intervalle des cadences a été élargi et porté à 80 m/min.

### Débits de référence

Un localisateur bien étalonné offre la possibilité de réaliser l'épandage quels que soient la dose  $D$  à apporter, l'écartement  $E$

avec lequel est semée la culture, et le type d'engrais choisi par l'utilisateur. Autrement dit,  $\forall (D_i, E_j), \exists (V_k, Q\alpha)$  solution de l'équation d'étalonnage (1).

Bien sûr, il faut respecter la réalité de terrain. Des valeurs théoriques *infinitement petites ou infinitement grandes* de  $D_i, E_j, V_k$ , n'ont aucun intérêt pour l'usage agricole de l'appareil. Les limites pratiques à cet étalonnage de débit (du moins pour la grande culture) sont celles évoquées dans les paragraphes ci-dessus (dose de 50 à 500 kg/ha, gamme d'écartement entre 40 et 80 cm, cadence au champ de 50 à 80 m/min).

Avec le système de distribution proposé, fonctionnant par simple gravité, au moyen de rondelles en acier, ces débits sont limités inférieurement par les problèmes de bouchage de la buse. Il n'y a plus de régularité de débit de l'appareil avec des buses de diamètre inférieur à 6 mm pour le sulfate d'ammoniacque 21 %, à 8 mm pour l'ammonitrate 33,5 % et à 10 mm pour l'urée 46 %.

Au terme de nombreux essais réalisés par approximations successives, la gamme de busage pour apporter la dose 75-500 kg/ha et plus d'engrais, est celle reportée sur l'axe des abscisses de la figure 3, qui donne la relation reliant le débit  $Q\alpha$  au diamètre de la buse  $\emptyset$  pour l'angle de descente  $\alpha = 45^\circ$  par rapport à la verticale ( $\alpha = -45^\circ$  pour une lecture au sens trigonométrique, l'axe  $OX$  étant le sens d'avancement de l'opérateur). Cette gamme varie avec le produit : diamètre des buses  $\emptyset$  situé entre 6 et 12 mm pour le sulfate d'ammoniacque 21 %, 8 et 14 mm pour

l'ammonitrate 33,5 %, et 10 et 14 mm pour l'urée 46 %.

En plus du diamètre de la buse, ces débits spécifiques sont fonction de la « fluidité » du produit, elle-même fonction de la densité, du spectre granulométrique et de la forme des granules [6] :  $Q\alpha$  est plus grand pour le 21 % que pour le 33,5 % ou l'urée 46 %. Ils sont également (c'est évident), fortement influencés par l'angle de descente de l'engrais. En revanche, il n'y a pas d'effet significatif de la hauteur du produit à l'intérieur de la cuve sur les débits spécifiques. À titre d'exemple, la figure 4 donne la relation débit/angle pour l'urée en utilisant la buse d'orifice  $\emptyset = 12$  mm.

### Détermination de la buse de travail

Pour la pratique et dans les limites de nos essais sur betterave et pois chiche, l'épandage tube de descente réglé sur un angle  $\alpha = 45^\circ$  par rapport à la verticale semble plus commode et plus compatible avec les impératifs de contrôle de qualité des épandages sur le terrain : produit apporté au pied de la plante, pas de risques de brûlures sur le feuillage, contrôle à vue du débit, du bouchage du système de distribution, du moment exact de fin de course (cuve vide) pour s'arrêter afin de recharger l'appareil, etc. C'est donc par rapport à cette position que nous réaliserons l'étalonnage de l'appareil, du moins dans le cadre de cette étude expérimentale.

Pour la recherche de la buse (rondelle) donnant la dose  $D$ , la démarche est très simple. Les rondelles en acier sont marquées de la plus petite à la plus grande

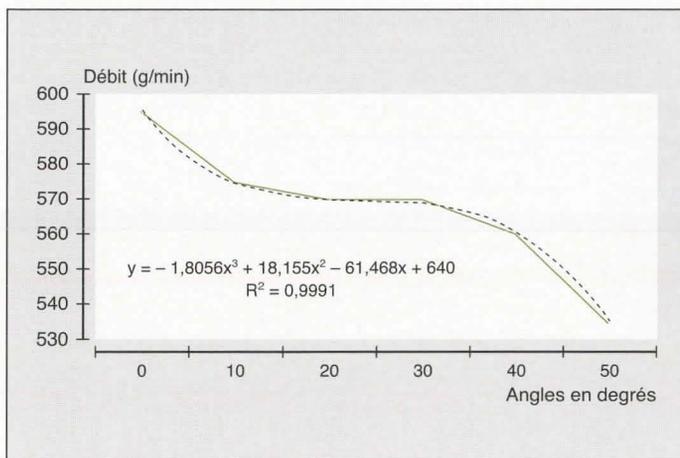


Figure 4. Relation Débit/Angle.

Figure 4. Output/Angle ratio.

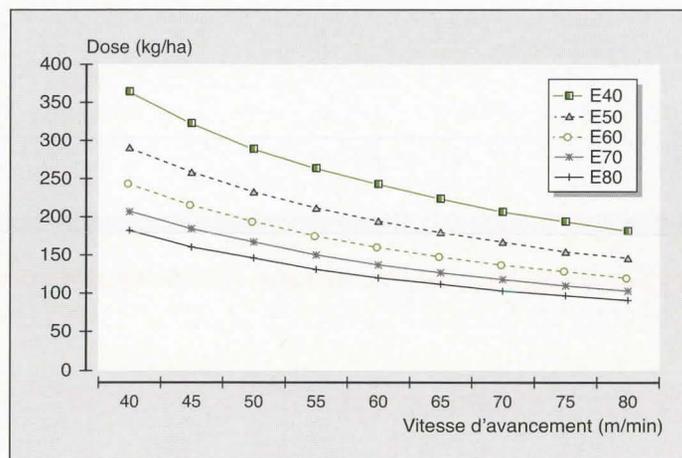


Figure 5. Relation Dose d'engrais/Cadence.

Figure 5. Fertilizer dosis/progress speed ratio.

en fonction de leur diamètre de sortie  $\varnothing$  ( $\varnothing 6$  signifie 6 mm,  $\varnothing 6,5$  signifie 6,5 mm, ...  $\varnothing 14$  signifie 14 mm). Connaissant la nature de l'engrais à utiliser, connaissant E et V, la résolution de l'équation (1) donne directement le débit  $Q\alpha$ . Et pour avoir le numéro de la rondelle qui donne  $Q\alpha$ , il suffit de le rechercher sur le graphique correspondant de la figure 3.

À titre d'exemple, si la dose D à apporter est de 150 kg/ha, que l'engrais choisi est l'ammonitrate, que la culture a été semée à un écartement E = 50 cm et que l'on a choisi de travailler à une cadence de 70 m/min, alors le débit  $Q\alpha$  doit être de 525 g/min et le numéro de la rondelle  $\varnothing 11,5$ .

Bien sûr pour le futur utilisateur, la position tube de descente positionné à  $45^\circ$  n'est pas une obligation. L'important est que la rondelle réponde à la solution de l'équation d'étalonnage (1). En revanche, l'examen de la figure 4 montre qu'il n'est pas très commode de faire varier la position du tube de descente une fois l'étalonnage établi. La relation débit/angle est une relation complexe très dépendante du diamètre de la buse et de la fluidité de l'engrais. Elle est en outre de manipulation malaisée (exemple :  $y = -1,8056x^3 + 18,155x^2 - 61,468x + 640$ ) pour un praticien qui a besoin d'un outil de travail simple sur le terrain.

#### Abaques spécifiques d'utilisation

Les engrais azotés, granulés en particulier, ont des caractéristiques physiques

(densité, granulométrie, fluidité, etc.) très différentes selon leur procédé de granulation et leur origine [6-10]. Pour le localisateur, objet de la présente communication, la recherche du numéro de la rondelle, en poste fixe, reste la méthode d'étalonnage universelle, sûre quelle que soit l'origine de l'engrais. D'autant plus que sa mise en œuvre est très simple et demande peu de temps (moins d'une heure).

En revanche, si l'utilisateur reste fidèle à un même fabricant, le raisonnement peut être poussé en établissant des abaques d'utilisation permanents de l'appareil, spécifiques à une origine d'engrais bien déterminée. Et tant que le fabricant n'intervient pas sur le produit pour en modifier les caractéristiques physiques, ces abaques restent valables.

Pour construire ces abaques, on peut mettre en relation, la dose à épandre, le diamètre de la buse (qui détermine le débit), la vitesse avec laquelle évolue l'opérateur et l'écartement entre les lignes de culture. Ce modèle d'abaque est présenté dans la figure 5 pour l'urée, et en utilisant la buse de diamètre  $\varnothing = 12$  mm.

La lecture de ces abaques est très simple, leur exploitation est instantanée et n'a besoin d'aucun test préalable. Une fois la dose D et l'engrais choisis, l'abaque donne directement (par projection orthogonale sur l'axe des abscisses), la cadence à respecter pour réaliser l'épandage. Selon le diamètre de buse retenu, différentes cadences sont possibles.

#### Précision de l'appareil

Les coefficients de variation obtenus donnent une première idée sur la variabilité des deux paramètres dont dépend cette précision : le débit de l'appareil et la cadence de l'opérateur. Le localisateur en tant que tel est un appareil à débit assez précis (CV < 7 %). On est également surpris de la haute stabilité de la cadence avec laquelle un opérateur peut évoluer lors des épandages toute la journée (CV < 4 %), à condition de ne pas trop s'écarter de sa vitesse asymptotique caractéristique (Vac).

Dans de nombreux domaines agronomiques, notamment en matière d'échan-

Tableau 1

#### Effet appareil/cadence (quantité d'engrais utilisé = 4 kg)

|                   | Distance parcourue (m) |
|-------------------|------------------------|
|                   | 1                      |
|                   | 2                      |
|                   | 3                      |
|                   | 4                      |
|                   | 5                      |
|                   | 6                      |
| <b>Moyenne</b>    | <b>379</b>             |
| <b>Écart-type</b> | <b>15,89</b>           |
| <b>CV (%)</b>     | <b>4,19</b>            |
| <b>Erreur (%)</b> | <b>3,42</b>            |

#### Apparatus/progress speed effect (quantity of fertilizer used = 4 kg)

tillonnage des sols [11], il a été démontré que l'erreur globale due aux différentes sources d'imprécision n'est pas égale à la somme algébrique des erreurs élémentaires, du fait de la compensation (auto-neutralisation) qui s'établit entre elles.

Dans le cas présent, pour intégrer simultanément l'effet appareil et l'effet cadence de travail, la précision a été étudiée au champ en comparant entre elles les longueurs fertilisées à volume de produit constant. L'erreur obtenue (tableau 1) est très faible (moins de 5%). Autrement dit (et en traduisant ce résultat dans un langage pratique), pour une superficie de 1 hectare (soit 10 000 m<sup>2</sup>), le risque de se tromper par défaut ou par excès est à peu près de 350 m<sup>2</sup>!

Ce faible niveau d'erreur constitue un progrès considérable par rapport à l'épandage manuel. Des mesures réalisées sur ce dernier mode d'apport à la ferme de *Itto Aomar* ont montré l'impossibilité de faire coïncider la dose prévue avec la superficie exacte visée au départ. Malgré l'expérience de la main-d'œuvre, systématiquement en bout de parcelle, soit il reste de l'engrais (sous-dosage), soit il faut encore de l'engrais pour finir l'épandage (surdosage). Les quantités mises en jeu, en plus ou en moins, peuvent varier dans de larges proportions (7 à 21 %) par rapport à la dose totale.

## Analyse de la rentabilité

Il s'agit d'une comparaison au champ par rapport à l'apport manuel au pied de la plante et non par rapport à un apport manuel à la volée. Le tableau 2 donne le résultat obtenu dans un essai grandeur nature réalisé sur pois chiche à la ferme de *Itto Aomar*. On perd moins de temps à reprendre l'épandage à la main que pour recharger l'appareil à dos (35 minutes contre 49 minutes); en revanche, le rendement journalier du localisateur est nettement supérieur à celui de l'épandage manuel: 1,7 hectare contre 1,2 hectare.

Ce rendement a été obtenu sur culture de pois chiche, une culture basse n'opposant aucune résistance à l'avancement de l'opérateur pendant l'épandage. Il est probablement valable pour d'autres cultures telles que la betterave, la pomme de terre, etc., mais doit être revu à la baisse pour des cultures hautes comme le

Tableau 2

### Rendement comparé du localisateur et de l'apport manuel

| Longueur de la ligne de culture : 300 m<br>Horaires de travail : 8 h à 12 h et 14 h à 18 h |               |            |                 |            |
|--|---------------|------------|-----------------|------------|
|  | Localisateur  |            | Épandage manuel |            |
|  | Matin         | Après-midi | Matin           | Après-midi |
| Lignes travaillées   | 42            | 40         | 28              | 30         |
| Superficie correspondante  | 1,72 hectare  |            | 1,22 hectare    |            |
| Somme des temps morts  | 49 min 01 sec |            | 35 min 34 sec   |            |

### Compared yields of localizator and manual inputs

maïs, le sorgho, etc., qui opposent une résistance au passage de l'opérateur.

La rentabilité proprement dite, c'est-à-dire le prix de revient comparé des deux modalités d'apport a été étudiée en prenant un prix de fabrication du localisateur de l'ordre de 60 dollars (prix de revient au stade actuel encore expérimental) et un amortissement de l'appareil sur cinq ans, affecté à une superficie minimale traitée de 20 hectares (10 ha x 2 passages).

Avec de telles hypothèses de travail inspirées des données réelles des domaines du Gharb, le classement de la rentabilité n'est pas différent du classement ci-dessus sur le rendement journalier, l'amortissement de l'appareil étant pratiquement insignifiant (0,6 \$/ha).

## Limites du système

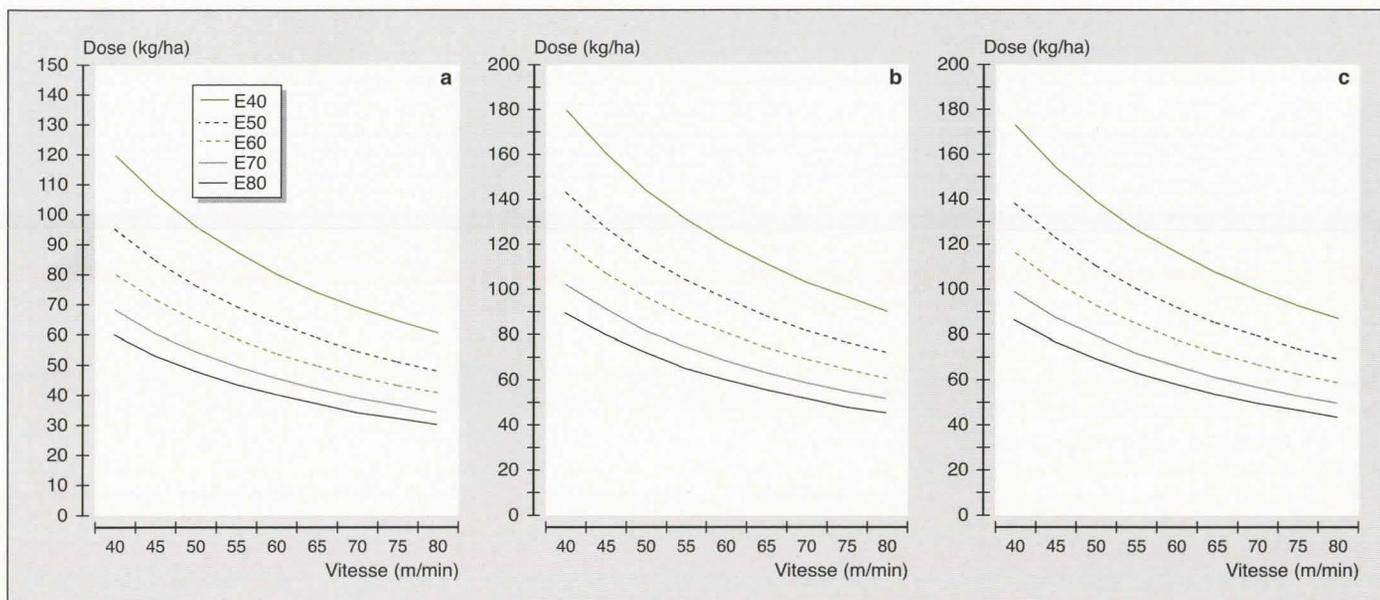
Rappelons que pour des raisons de bouchage, il n'y a plus de régularité de débit de l'appareil avec des buses de diamètre inférieur à 6 mm pour le sulfate d'ammoniaque, 8 mm pour l'ammonitrate et 10 mm pour l'urée 46.

C'est donc visiblement (figures 6a, 6b et 6c) pour l'apport de petites doses que cet appareil soulève des problèmes, en particulier en cas d'écartements serrés. Pour des valeurs de  $D < 75$  kg/ha et des écartements de 40 cm, seul le sulfate d'ammoniaque (produit cristallisé très fluide) est encore utilisable avec une buse de diamètre  $\varnothing 6 = 6$  mm. Pour les deux granulés, l'apport de petites doses entre 75 et 100 kg/ha est encore possible pour des écartements supérieurs à 40 cm, en utilisant les petites buses ( $\varnothing 8$  pour l'ammonitrate et  $\varnothing 10$  pour l'urée), mais au prix d'une cadence élevée de travail

( $V = 70-75$  m/min) pour laquelle l'utilisateur n'a plus le choix.

Pour tourner la difficulté, la solution agronomique à ces petites doses consisterait soit à réduire le nombre d'applications (1 au lieu de 2; 2 au lieu de 3), à condition de s'assurer qu'il n'y a pas d'impact grave sur le plan agronomique (baisse de productivité ou de rentabilité) ou écologique (risque de migration intense de N et pollution du milieu), soit à faire l'épandage en sautant une ligne sur deux. Dans ce dernier cas, la lecture sur l'axe des doses doit être le double de la dose conseillée, soit  $D' = 2D$ .

En sautant une ligne sur deux, la ligne de culture n'est fertilisée que d'un seul côté, en cas d'apport unique. Mais il n'y a plus cet inconvénient, dès lors qu'il s'agit d'un fractionnement en un nombre élevé de fois [12], puisque la ligne peut être fertilisée alternativement de part et d'autre, au fur et à mesure de l'avancement du programme des apports. Malgré l'énorme progrès qu'il permet pour le confort de l'opérateur par rapport à un épandage manuel dos courbé toute la journée, l'appareil n'offre pas une flexibilité de travail absolue. Pour des impératifs de respect de la régularité des épandages, la cadence de travail en particulier, n'est pas totalement personnalisable en fonction des capacités physiques de l'opérateur quels que soient  $D$ ,  $E$ , et  $Q\alpha$ . L'opérateur ne profitera de sa propre cadence asymptotique,  $V_{ac}$ , que dans les cas particuliers où elle coïncide avec la  $V_{ac}$  requise pour l'épandage. Autrement dit, si l'épandage requiert des valeurs de  $V_{ac}$  élevées, l'opérateur à  $V_{ac}$  faible va devoir se soumettre à de fortes cadences spécifiques qui ne sont pas les siennes. L'inverse est également vrai et pénalise l'opérateur à  $V_{ac}$  élevée en l'obligeant à adopter une cadence spécifique



**Figure 6.** Abaque partiel extrait du projet du guide d'utilisation du localisateur d'engrais : a) sulfate d'ammoniaque – orifice de la buse : 6 mm ; b) ammonitrate – orifice de la buse : 8 mm ; c) urée – orifice de la buse : 10 mm.

**Figure 6.** Part of the abascus included in the fertilizer localizer instruction manual project.

plus faible que sa performance réelle, chaque fois qu'on doit apporter une dose incompatible avec les grandes vitesses (figures 6a, 6b, 6c).

L'impact de cette limitation n'est pas seulement physique ou moral mais également matériel. Des Vac faibles ne sont pas compatibles avec les objectifs de la catégorie de main-d'œuvre habituée au Maroc, à la rétribution à la tâche (suer plus pour gagner plus), tout comme des Vac élevées ne sont pas compatibles avec les objectifs de la main-d'œuvre préférant la rétribution à la journée (suer moins, quitte à gagner moins).

Des Vac faibles sont également incompatibles avec la politique de la tâche à mi-temps (travailler plus dur le matin pour se reposer l'après-midi) et n'offrent pas la possibilité de mieux rentabiliser sa journée à un opérateur très entreprenant et travaillant pour son propre compte.

## Consignes pour la fabrication et l'utilisation

Pour un atelier comme le nôtre, suffisamment équipé mais non spécialisé, qui serait tenté de fabriquer lui-même ses propres

appareils pour la première fois, il faut savoir que les produits azotés sont corrosifs à l'égard du cuivre, du zinc et de leurs alliages. Le polyester ou la tôle inoxydable sont les matières les plus indiquées. Si le localisateur devait être fabriqué en tôle ordinaire, un revêtement anticorrosion (anti-rouille, galvanisation, peinture, etc.) serait nécessaire. Et une conception de cuve avec fond démontable facilitant l'application du revêtement serait la bonne solution.

Pour l'utilisateur, les principales consignes concernent le choix de la qualité de l'engrais, l'étalonnage au champ, le contrôle

de cet étalonnage et la question secondaire de l'entretien de l'appareil.

On n'est pas ici en présence d'un épandeur motorisé avec éjection forcée, mais d'un système fonctionnant par simple gravité. Seuls des engrais de fabrication récente, respectant les normes de la qualité [6] sont recommandés.

Des produits azotés de mauvaise qualité (hygroscopicité élevée, prise en masse, produits souillés, etc.) sont déconseillés et peuvent être sources de problèmes (irrégularité, bouchage) à l'épandage.

L'expérience a montré, qu'on n'a pas besoin d'avoir « l'odomètre dans l'œil » pour

## Summary

### Design of a fertilizer localizer prototype

A. Aït Houssa, H. Al-Babaallal, K. Graïma

*We describe the prototype of a nitrogen fertilization localizer (ammonium sulfate, ammonium nitrate, urea), for use during the growing period of weeded plants. The apparatus is made up of a 30-liter container, a telescopic distributor system with adjustable spreading angle and interchangeable nozzles allowing the spreading dose to vary from 50 to 500 kg/ha, with a good accuracy. To facilitate its use on site, the apparatus integrates built-in abascuses, taking into account the three parameters for the dose to be spread: the nozzle output, the progress speed of the operator and the distance in-between rows.*

*Cahiers Agricultures 2002 ; 11 : 213-9.*

évoluer à vitesse stable au moment des épandages, si cette vitesse correspond à la cadence asymptotique caractéristique Vac de l'opérateur.

Néanmoins, un exercice de stabilisation *in situ* au début de chaque grand chantier, pour tenir compte des données réelles du terrain (pente, vent, état du sol, développement de la culture, etc.), serait plus sécurisant.

D'une manière générale, pour les grands chantiers, l'ouvrier en charge de piloter l'équipe doit être celui pour lequel Vac est très reproductible et proche de la cadence d'étalonnage requise. En moyenne, l'expérience montre que 15 allers-retours sur de petites distances de 150 m sont suffisants pour s'assurer de cette stabilisation. Pour éviter les mauvaises surprises, un contrôle de cadence en cours de journée sera toujours le bienvenu. Il peut être effectué par le contremaître, de l'extérieur même du champ, grâce à la technique usuelle du *jalonnage*. La méthode consiste à baliser une bande de largeur connue au milieu du champ, dans la direction perpendiculaire aux épandages, et à relever de temps à autre, au moyen d'un chronomètre, le temps T de traversée. Si ce temps T est constant, la cadence affichée est respectée, sinon on procède aux petites corrections nécessaires.

Pour des raisons de commodité, au niveau d'une grande ferme, il faudrait disposer une fois pour toutes du tableau des cadences asymptotiques caractéristiques de la main-d'œuvre affectée tous les ans aux épandages, même si un contrôle rapide sera toujours nécessaire au début de chaque chantier afin de s'assurer qu'il n'y a pas eu d'évolution significative des valeurs inscrites sur ce tableau de référence, imposées par les conditions du moment (état de santé, conditions météo, etc.).

L'appareil proposé ici est très simple, mais dans le souci d'une meilleure durée d'utilisation, un entretien minimum des pièces (nettoyage, peinture, etc.) sera nécessaire.

## Conclusion

Le prototype de localisateur, objet de la présente communication, a été mis au point dans une double optique :

- adapter le travail à l'homme comme le recommande la nouvelle conception de la médecine du travail ;
- contrôler la qualité du travail d'épandage sur le plan agronomique.

Travailler dos courbé toute la journée est

un facteur reconnu de prédisposition aux lombalgies et peut même être un handicap chez des sujets très sensibles à ce type de mal de dos. À terme, la position courbée peut conduire à la célèbre maladie de la « plicature champêtre » des paysans. C'est d'autant plus problématique que la médecine du travail ne reconnaît pas pour le moment les lombalgies chroniques comme étant des maladies professionnelles. Pour ne pas aggraver davantage les rapports employé/employeur déjà compliqués dans le secteur de l'agriculture au Maroc, il faut éviter au travailleur les risques de contracter des maladies non couvertes par les caisses d'assurance.

La recherche d'un confort encore meilleur pour l'ouvrier nous conduit à l'idée de tenter de transférer ces activités d'épandage d'engrais habituellement réalisées à dos d'homme à des activités réalisables à dos de mulet ou à dos de baudet. Le rôle de l'ouvrier serait alors réduit à celui de conducteur comme dans les autres travaux réalisés avec la traction animale (traçage, binage, etc.). La solution est d'autant plus intéressante que d'importants gains de rendement et de rentabilité en sont attendus, grâce à une capacité de cuve et à une largeur de travail plus importantes.

Bien sûr, encore faut-il (et ce serait une originalité) parvenir à fabriquer un appareil à dos adapté aux animaux de trait ?

Sur le plan agronomique, cette étude a été pour nous l'occasion de découvrir les problèmes inédits des épandages d'engrais à la main. On en parle peu, mais la difficulté d'obtention d'un épandage homogène au champ est réelle et impossible à résoudre autrement que par le recours à un appareil susceptible de faire l'objet d'un étalonnage reproductible.

Dans la présente étude nous n'avons abordé que les plantes sarclées, mais il va sans

dire que l'appareil peut être utilisé pour fertiliser d'autres cultures en ligne comme les agrumes et les arbres fruitiers.

## Références

1. Aït Houssa A. Réactions des personnes sensibles au mal de dos notées dans les chantiers de main-d'œuvre à l'occasion des récoltes de blé à la faucille dans le Haouz de Marrakech. Maroc. Non publié, 1968.
2. Cornu JY, Hanafi A, Bonnans V, Gharbi T, Cardot JC. Réflexions sur l'évaluation des techniques manuelles dans les lombalgies chroniques. *Archives des maladies professionnelles et de la médecine du travail* 2001 ; 62 : 660-3.
3. Bernard JL. De la houe à cheval aux phytohormones de synthèse. Cent ans de désherbage des céréales. *Phytoma* 1990 ; 114 : 30-5.
4. Poiradeau S, Revel M. Reconditionnement à l'effort du lombalgique. *Rev Rhum* [Ed. Fr.] 1998 ; 65 ; 180S-1S.
5. Proteau J, Philbert M. *Médecine du travail. Physiologie du travail musculaire*. Paris : Masson, 1980 ; 401 p.
6. AZF. *Méthodes de mesure des propriétés physiques des granulés dans le Groupe GP*. Cahier Recherches-Procédés Engrais. Grand-Quevilly : AZF BP, 1991 ; 68 p.
7. Aït Houssa A. *Rapport de stage sur la fabrication des engrais effectué dans les usines de la Grande Paroisse*. France, 1992 ; 8 p.
8. Boudant J. *Caractéristiques physiques des engrais azotés solides*. Colloque Azote juste. Lycée Agricole « Le Robillard » 14170 Saint-Pierre-Sur-Dives, France, 1992 ; 53 p.
9. Caroline Fayolle. Choisir un engrais. *Cultivar* 1992 ; 330 : 62-6.
10. Gros A. *Engrais. Guide pratique de la fertilisation*. Paris : Maison Rustique, 1979 ; 382 p.
11. Aït Houssa A. *Étude du potassium dans divers types de sol et systèmes de culture au Maroc*. Thèse de Doctorat d'État ès sciences agronomiques. IAV Hassan II, Rabat, 1989 ; 145 p.
12. Aït Houssa A. Enquête fertilisation menée dans 3 périmètres betteraviers (Tadla, Gharb et Doukkala) irrigués par gravité au Maroc. Résultats non publiés, 1979.

## Résumé

On décrit un prototype de localisateur à dos pour l'apport d'engrais azotés (sulfate d'ammoniaque, ammonitrate, urée) sur plantes sarclées en végétation. L'appareil est composé d'une cuve de 30 l et d'un système de distribution télescopique à angle de descente réglable et à buses interchangeables, permettant de faire varier la dose dans la limite de 50 à 500 kg/ha, avec une bonne précision. Pour en faciliter l'utilisation sur le terrain, l'appareil est muni d'une série d'abaques construits en tenant compte des trois paramètres dont dépend la dose à épandre, c'est-à-dire le débit de la buse, la vitesse d'avancement avec laquelle évolue l'opérateur et l'écartement entre les lignes de culture.