

L'enjeu environnemental des performances mécaniques des épandeurs

Les normes européennes en matière d'épandage ont été établies en fonction des performances mécaniques actuelles des matériels d'épandage, mais ces normes manquent aujourd'hui d'une justification agronomique. Évaluer l'impact de l'apport de nitrate et son lessivage en fonction des performances mécaniques des épandeurs et selon le type de fumure utilisée, est un enjeu important pour déterminer des critères d'exigence environnementale raisonnables.

La qualité d'épandage

Environ cent cinquante millions de tonnes de fumier et de lisier sont épandues chaque année en France. Cet épandage est générateur de pollution, en raison des nitrates lessivés, et les progrès observés dans la lutte contre cette pollution diffuse sont jugés insuffisants par l'Europe (Commission européenne, 2007). Il faut donc continuer à faire évoluer favorablement les pratiques et notamment celles en rapport avec la qualité de réalisation de l'épandage. Si l'on admet généralement que la précision et l'homogénéité de l'épandage de matières organiques sont insuffisantes, le sujet a rarement été considéré d'une façon intégrée alliant les préoccupations agronomiques aux préoccupations technologiques. Les exigences fixées par la norme NF EN 13080 (Norme française, 2003) ont été établies en fonction des performances actuelles des épandeurs, dans l'objectif de favoriser une amélioration de la qualité de travail de ces machines. Ces exigences sont tout à fait réalistes sur le plan mécanique car une étude a montré qu'aujourd'hui, 45 % des appareils produits ne satisfont pas aux exigences de cette norme (Rousselet et Mazoyer, 2006). Mais ces critères d'évaluation retenus manquent toujours d'une justification agronomique qui permettrait de trancher entre l'excès de sévérité ou l'indulgence des exigences retenues. Pour leur part, les agronomes raisonnent généralement en termes de doses à l'hectare sans prise en compte de l'hétérogénéité de l'apport. Il n'est donc pas possible de transposer simplement les règles de fertilisation au cas (plus complexe) de l'hétérogénéité d'épandage. C'est ce travail que nous avons souhaité réaliser pour asseoir les

besoins en matière de recherche et d'évaluation d'épandeurs. Nous nous sommes concentrés sur l'épandage de produits solides où le retard en matière de qualité d'épandage est le plus important. Il s'agit en majorité de fumiers de bovins, bruts ou compostés, mais aussi de produits plus riches en azote comme les fientes de volaille ou les boues déshydratées. Nous trouvons également des composts enrichis qui permettent à certains agriculteurs de pratiquer une fertilisation organique équilibrée sans avoir recours aux engrais minéraux.

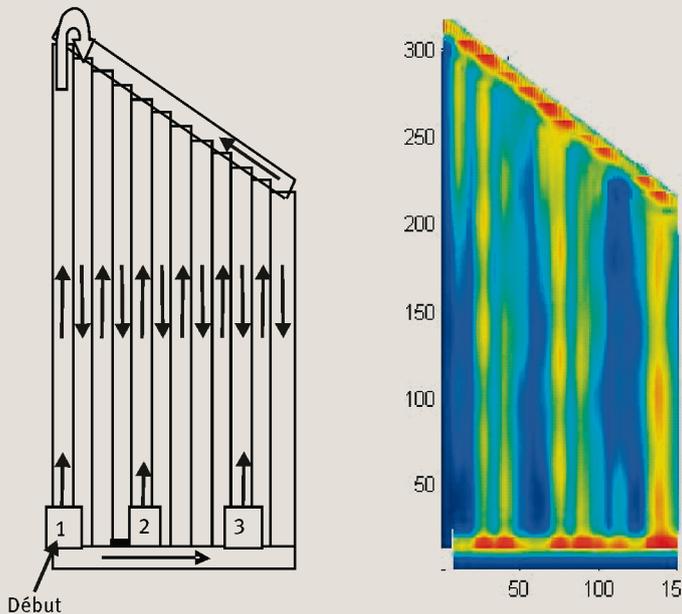
La répartition de l'apport : un critère essentiel de qualité d'épandage

La répartition est le critère principal de qualité d'épandage. Pour l'évaluer précisément, elle est analysée à travers deux composantes : la répartition longitudinale et la répartition transversale. Selon la norme NF EN 13080, chacune des deux répartitions doit répondre à des exigences propres comme le montre le tableau 1.

1 Exigences de régularité de répartition des épandeurs de fumier (norme NF EN 13080)

	Répartition transversale	Répartition longitudinale
Coefficient de variation	< 30 %	< 40 %
Durée de débit stabilisé (± 15 %)		> 35 %

1 Trajet d'épandage virtuel et cartographie de la dose d'épandage



Nous avons donc deux séries d'indicateurs disponibles pour évaluer les épandeurs. Afin d'établir un paramètre unique permettant de quantifier la qualité de répartition, nous avons considéré trois niveaux témoins de technologies d'épandage correspondant donc à un « mauvais », un « moyen » et un « bon » épandeur.

L'épandeur qualifié de « mauvais » est un épandeur à hérissons verticaux de première génération, encore largement utilisé à l'heure actuelle. L'épandeur « moyen » répond à la norme NF EN 13080. Le « bon » épandeur a pour sa part bénéficié d'une optimisation technologique dérivant des études précédentes du Cemagref : il s'agit principalement de l'ajout d'un volet accompagnateur évitant l'éboulement du tas de fumier à l'intérieur de la caisse et améliorant grandement, de ce fait, la régularité longitudinale.

Ces épandeurs ont été testés conformément à la norme NF EN 13080. Nous avons alors exploité les résultats d'essai en réalisant un épandage « virtuel » par simulation numérique, comme le montre la figure 1. La parcelle prédéfinie a une surface d'un hectare.

Cette simulation nous a conduits à reporter dans un plan et selon deux axes de référence les quantités indiquées par les courbes de répartition transversales et longitudinales pour chaque point particulier. L'épandeur se déplace en effet virtuellement selon un trajet déterminé par la largeur d'épandage choisie. Cette largeur est déduite de la courbe de répartition transversale et s'intitule largeur optimale. À chaque position de l'épandeur va alors correspondre un débit affectant les différents points de la courbe de répartition transversale.

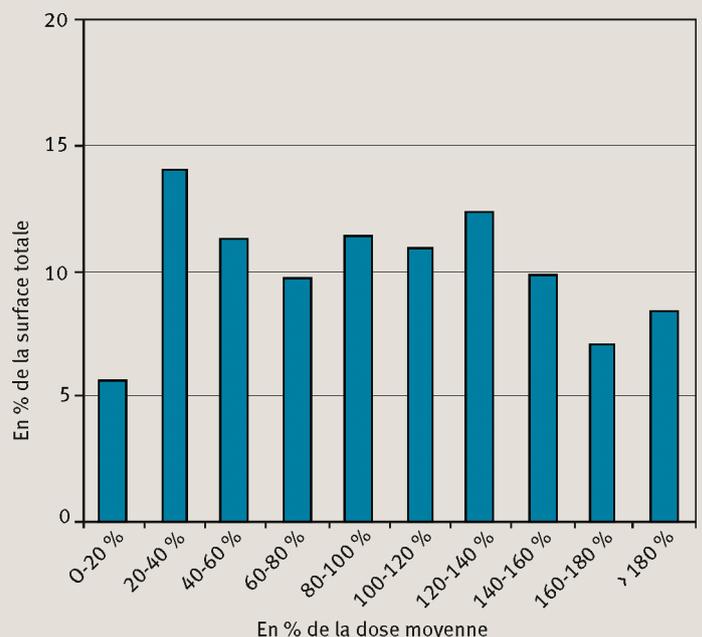
Sur cette surface épandue, les défauts de répartition peuvent localement se cumuler alors que dans

d'autres endroits, ils vont se compenser. À partir de cette carte, nous obtenons donc une bonne image de la qualité globale de répartition, prenant en compte les interactions entre répartition longitudinales et transversales. La répartition globale est définie par un histogramme des doses obtenues pour chaque maille élémentaire de la carte d'épandage. Nous avons fixé la dimension de cette maille élémentaire à un quart de mètre carré de sol (50 cm x 50 cm). Ce choix repose sur une estimation de la limite de transfert latéral des matières fertilisantes à 50 cm. Il correspond aussi à la dimension des bacs de réception utilisés pour les tests de répartition.

L'analyse de l'épandage virtuel nous permet donc d'établir un histogramme des doses locales comme le montre la figure 2. Dans ce cas, plus de 5 % de la surface n'a reçu que moins de 20 % de la dose souhaitée. Par ailleurs, sur 8 % de la surface, cette dose dépasse quasiment le double de la quantité voulue. Nous n'avons au final que 22 % de la surface correctement épandue (à 20 % près). L'histogramme représenté sur la figure 2 montre ainsi une répartition fortement hétérogène puisque les doses se répartissent de façon quasi égale dans les différentes classes considérées, au lieu de se concentrer sur les deux classes centrales correspondant à la dose moyenne ± 20 %.

L'obtention de cet histogramme permet maintenant de transposer le problème de la fertilisation hétérogène d'une parcelle à celui de la fertilisation de dix parcelles recevant chacune une dose homogène spécifique. Il s'agit alors d'un cas de fertilisation qui peut être abordé avec des logiciels classiques agronomiques. ▶

2 Répartition des doses par classe



L'évaluation du lessivage de nitrates

Pour évaluer le lessivage de nitrates dans un cas particulier, il est nécessaire de connaître les conditions agronomiques et pédoclimatiques postérieures à l'épandage. Pour notre cas, les situations survenant après l'épandage peuvent être très diverses. C'est la raison pour laquelle, nous avons repris la démarche suivie par les agriculteurs et nous nous sommes orientés vers un outil de raisonnement de la fertilisation qui leur est destiné, le logiciel Planfum. Ce logiciel permet de calculer l'apport à effectuer et donne une estimation des lessivages de nitrate pour cet apport. Il fonctionne en deux temps. Il s'agit d'abord de déterminer les doses d'épandage en engrais organiques et engrais minéraux complémentaires, en préparation des cultures. Dans un deuxième temps, le programme effectue le calcul du bilan de fertilisation après récolte pour prédire les excédents d'azote et estimer éventuellement un lessivage potentiel. Dans ce cas, il faut effectuer une implantation de cultures intermédiaires destinées à se nourrir des nitrates excédentaires (pièges à nitrates). Pour notre application particulière, les concepteurs du logiciel Planfum ont créé un programme complémentaire. Cet exécutable utilise les routines de calcul de Planfum. Il intègre les trois histogrammes obtenus dans le cadre des tests des mauvais, moyen et bon épandeurs et permet d'obtenir facilement une estimation d'excédent azoté pour une situation culturale choisie.

Le calcul de l'apport d'engrais et le bilan azoté

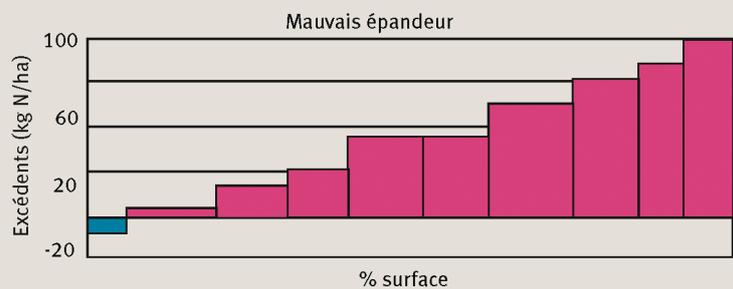
En pratique, ce programme nous demande d'abord de fixer les conditions agronomiques. On choisit ainsi le type de sol, puis de culture avec le rendement attendu. Nous disposons alors d'un conseil de dose d'azote à apporter à la culture pouvant satisfaire les besoins nutritionnels de la plante. Nous choisissons ensuite le produit organique à épandre avec la dose désirée. Le programme calcule la dose d'azote complémentaire à apporter sous forme d'engrais minéral de façon à satisfaire ces besoins. Il détermine ensuite le bilan prévisionnel après récolte, bilan qui n'est pas forcément entièrement équilibré car les besoins nutritionnels peuvent dépasser les prélèvements réels. En cas d'excès, l'agriculteur est censé implanter une culture piège à nitrates pour résorber les excédents après récolte.

De l'incidence de la régularité de l'épandage

Après cette mise en situation agronomique, le programme calcule le bilan de fertilisation pour chacune des dix parcelles définies (figure 2) et détermine le résultat global pour l'ensemble de ces sous-surfaces que nous assimilons au cas de la parcelle hétérogène d'origine. Nous avons donc trois résultats correspondant à l'épandeur mauvais, moyen ou bon.

Nous supposons que la quantité moyenne épandue est égale à la dose souhaitée provenant du conseil en

3 Excédents d'azote sur chacune des dix parcelles pour les conditions sélectionnées



	45 unités N/ha d'excédents
Blé	100 mg/l de nitrates dans la nappe
Apport de 5t/ha de fientes de volailles	0,5 qx de pertes de rendement

fertilisation azotée. Les écarts par rapport à cette dose moyenne dépendent alors uniquement de la régularité d'épandage.

La figure 3 montre la présentation des résultats avec les excédents ou déficits d'azote (en kg d'azote par hectare) pour chacune des dix parcelles précédemment définies par l'histogramme de répartition. Ici, la largeur attribuée à chaque colonne liée à une parcelle correspond à la surface de cette parcelle. Sa hauteur correspond aux unités excédentaires d'azote. Ainsi, la surface de chaque rectangle lié à une des dix parcelles représente la quantité d'azote excédentaire susceptible de lessivage. Dans l'exemple choisi, on voit que la majorité de la surface est en excédent, seule la classe de sous-dosage le plus important (10 % seulement de la dose voulue) présente un déficit d'apport azoté.

Le programme récapitule également la quantité globale d'azote (en unités d'azote par hectare) en excédent, une estimation de la teneur en nitrates (en mg/litre) de la nappe drainante et une estimation de la perte de rendement due à la sous-fertilisation.

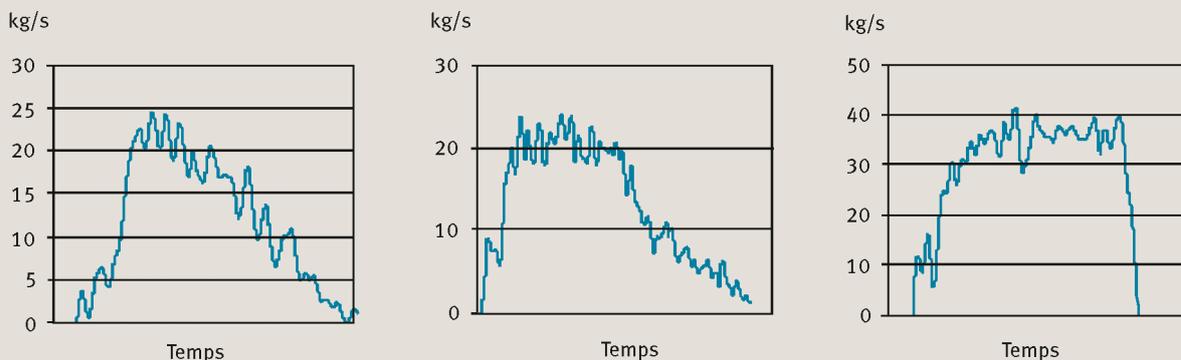
Les trois cas concrets d'épandeur

Les tests effectués sur les trois épandeurs sélectionnés ont montré de nettes différences en matière de répartition d'épandage. La différence est spécialement marquée au niveau de la répartition longitudinale.

La figure 4 regroupe les trois courbes de répartition longitudinale montrant les variations de débit au cours du temps d'épandage. Dans le cas du mauvais épandeur, on remarque qu'il n'y a pratiquement aucun plateau de débit stabilisé. Dans le cas de l'épandeur moyen, le plateau de débit stabilisé (appelé dans la norme NF EN 13080 « étendue dans la zone de tolérance ») représente 51 % du temps d'épandage, ce qui est supérieur à l'exigence requise (35 %). Pour le bon épandeur, cette durée est encore accrue et atteint 70 % du temps de vidange.

Si nous regroupons, après épandage virtuel, les trois histogrammes de répartition sur un graphique commun (figure 5), nous pouvons observer que la répartition globale est mieux centrée pour le bon épandeur

4 Courbes de répartition longitudinale pour les trois épandeurs (mauvais et entre moyen et bon)



que pour l'épandeur moyen. Quant au mauvais épandeur, la répartition des doses est très dispersée. Notre choix d'épandeurs s'avère donc pertinent avec des performances suffisamment différenciées pour tester la sensibilité des lessivages de nitrate à la répartition d'épandage.

L'évaluation du lessivage pour ces cas concrets

Les simulations effectuées à l'aide du logiciel Planfum ont été réalisées sur cinq cultures différentes, trois types de sols et quatre types d'engrais organiques. L'analyse de l'ensemble de ces résultats permet de montrer les différents niveaux de sensibilité des lessivages à l'hétérogénéité d'épandage.

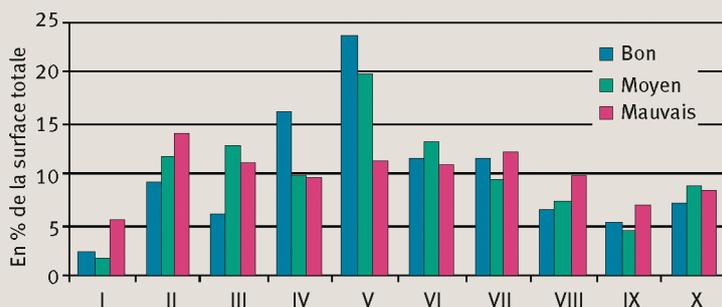
Lorsque le bilan est équilibré pour la dose conseillée, ce qui est idéal pour la préconisation de fertilisation, il n'y a pas d'excédent d'azote car les sorties sont équivalentes aux entrées. Dans ce cas, nous observons sur le graphique que les colonnes centrales, représentatives des zones à dose réelle proche de la dose de consigne, montrent un excédent quasi nul. Pour l'ensemble de la parcelle, nous aurons une partie de sous-dosage équivalente en valeur absolue à la partie de surdosage.

Les deux graphiques composant la figure 6 montrent comment l'hétérogénéité va influencer le lessivage.

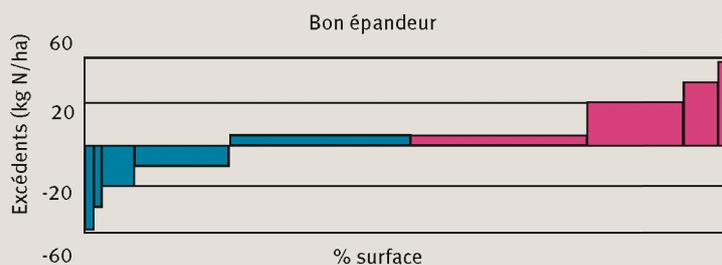
Ces deux graphiques comparent les excédents d'azote obtenus pour un bon et un mauvais épandeur dans les mêmes conditions agronomiques. La dose moyenne est identique pour les deux épandeurs ; par contre, les sous-parcelles à fort surdosage ont une superficie plus importante dans le cas du mauvais appareil (il en est de même pour le cas du sous-dosage). Au final, la quantité totale d'azote excédentaire passe de 10 à 16 unités d'azote. Nous aurons ainsi un lessivage 23 mg de nitrates par litre d'eau dans un cas et 36 mg par litre d'eau dans l'autre.

Par contre, lorsque le bilan azoté n'est pas équilibré pour la dose moyenne d'apport, il se produit des phénomènes de masquage réduisant fortement l'influence de l'hétérogénéité d'épandage sur les les-

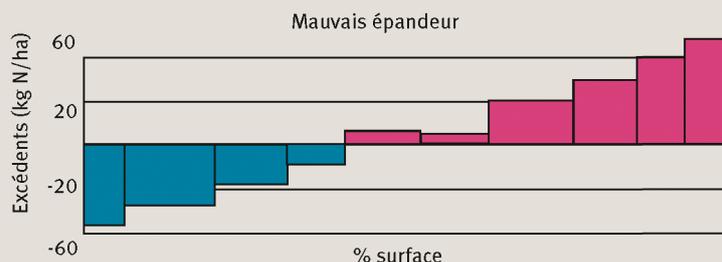
5 Regroupement des trois histogrammes de répartition obtenus pour les trois types d'épandeur.



6 Comparaison des risques de lessivage entre un bon épandeur et un mauvais épandeur



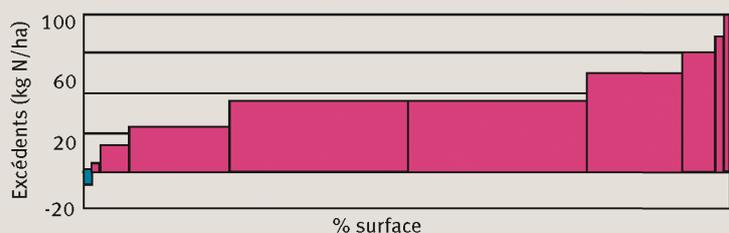
Blé
Apport de 5 t/ha de fientes de volailles + 70 unités N minéral
10 unités N/ha d'excédents
23 mg/l de nitrates dans la nappe
5,5 qx de pertes de rendement



Blé
Apport de 5 t/ha de fientes de volailles + 70 unités N minéral
16 unités N/ha d'excédents
36 mg/l de nitrates dans la nappe
5,3 qx de pertes de rendement

7 Comparaison des risques de lessivage entre un bon épandeur et un mauvais épandeur dans le cas d'un surdosage global

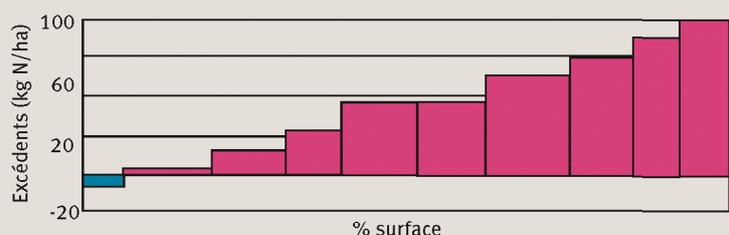
Bon épandeur



Blé
Apport de 5 t/ha de fientes de volailles + 110 unités N minéral

47 unités N/ha d'excédents
102 mg/l de nitrates dans la nappe
0 qx de pertes de rendement

Mauvais épandeur



Blé
Apport de 5 t/ha de fientes de volailles + 110 unités N minéral

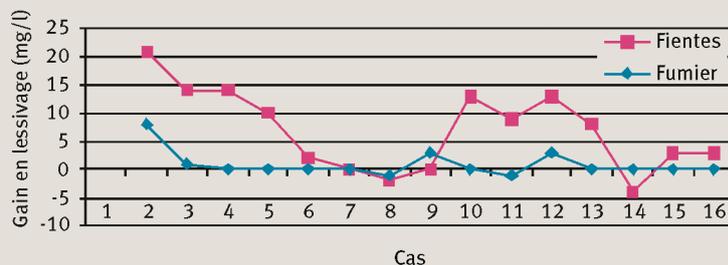
45 unités N/ha d'excédents
100 mg/l de nitrates dans la nappe
0,5 qx de pertes de rendement

► sivages de nitrate. Nous pouvons observer ce cas sur la figure 7 où presque toutes les parcelles sont en risque d'excédent.

Les deux graphiques composant la figure 7 montrent bien comment le surdosage cache l'effet de l'hétérogénéité sur le lessivage. Nous avons ici la même dose moyenne et la même dose totale sur l'ensemble de la surface. Le bilan final d'azote étant très majoritaire, les quantités figurant dans l'histogramme sont majoritairement positives. La différence entre les deux schémas joue sur la surface des sous-parcelles, en particulier celle de la classe de dose la plus faible. Au final, la différence ne porte que sur deux unités d'azote à l'hectare ou 2 mg de nitrates par litre d'eau.

Le second paramètre influençant la sensibilité du lessivage des nitrates vis-à-vis de l'hétérogénéité d'épandage est la richesse en azote disponible du produit épandu. Pour analyser l'effet différencié de la qualité de répartition entre les produits riches et les produits pauvres en azote disponible, nous avons analysé la différence « lessivage avec le mauvais épandeur – lessivage avec le bon épandeur » pour les différents résultats obtenus avec épandage de fientes et épandages de fumier de bovin.

8 Réduction de lessivage entre un bon et mauvais épandeur – selon deux produits épandus



La figure 8 présente ces résultats et montre que l'effet richesse du produit en azote disponible n'est pas automatique, mais les exigences d'épandage en matière de répartition doivent être renforcées avec des produits riches en azote comme les fientes de volaille.

Les conclusions de l'étude

Si le choix réalisé des trois épandeurs a bien permis de discriminer des répartitions très différentes, l'étude montre que l'effet sur le lessivage des nitrates n'est pas automatique. Les simulations agronomiques lient le lessivage à la surdose en azote. Cette surdose en azote dépend elle-même de plusieurs facteurs avant celui de la répartition. Elle peut être inhérente au conseil de fertilisation, puis aggravée par la difficulté de réglage de l'appareil ou des pratiques abusives. Elle sera aussi souvent liée à d'autres apports azotés que celui étudié. En effet, l'apport d'azote n'est généralement pas constitué uniquement de matières organiques, qu'elles soient solides (fumiers, compost, boues...) ou liquides (lisiers, effluents...). Il est habituellement complétement par des apports d'engrais minéral dans des proportions variant avec la richesse en azote du produit organique. Les valeurs d'effet direct de l'azote sont données dans le tableau 2 issu de la documentation du logiciel Planfum.

L'utilisation de ces coefficients, par exemple avec le fumier de bovins, montre que l'apport de 170 unités d'azote organique (dose limite de la directive nitrates) ne fournit que 25,5 unités d'azote disponibles pour la culture. Si ces 25 unités d'azote sont très mal réparties, les zones surdosées ne concernent qu'une faible partie de l'apport total d'azote, ce qui en limite l'impact. Il n'est pas question cependant de négliger l'impact négatif d'une mauvaise répartition pour ce fumier de bovins, mais nous pouvons établir que les normes de répartition NF EN 13080 (quoique parfois jugées peu contraignantes) sont dans ce cas tout à fait raisonnables.

Pour des produits beaucoup plus riches en azote à effet direct, les 170 unités d'azote d'origine organique apportées seront beaucoup plus largement disponibles. Leur proportion dans la fertilisation totale de la

2 Effet direct de l'azote organique en fonction des produits et des cultures

	Blé	Maïs	Herbe	Colza
Fumier de bovins	0,15	0,30	0,23	0,15
Lisier de bovin	0,30	0,45	0,40	0,30
Lisier de porc	0,40	0,60	0,45	0,40
100 % disponible	1	1	1	1
Lisier de porc enfoui	0,5	0,7	0,5	0,5
Compost	0,05	0,20	0,1	0,1

culture devient majoritaire et, de ce fait, la qualité de répartition des produits organiques joue un rôle plus important sur le lessivage. Pour les fientes, fumiers riches en azote disponible, boues et certains composts enrichis, il sera nécessaire de renforcer les exigences. À ce titre, il paraît essentiel que le fabricant d'épandeur précise clairement les potentialités de sa machine suivant les types de produits épandables. Les normes utilisées pour l'épandage des engrais minéraux pourront servir d'exemple d'objectifs à atteindre.

Pour les produits nouveaux, en particulier les produits homologués, il serait primordial que les recommandations agronomiques se complètent par des préconisations en matière de qualité d'épandage.

Le second constat est que l'effet de l'hétérogénéité d'épandage est caché dans les cas de bilans excédentaires. En effet dans ce cas, même les zones sous-dosées par rapport à la dose moyenne restent excédentaires et contribuent également au lessivage de nitrates. Les implications de ce constat sont, en matière d'épandage, la nécessité primordiale de privilégier les moyens de réglage de dose sur les épandeurs. Ce point est très souvent négligé pour les machines mises sur le marché actuellement. La documentation fournie avec la machine n'indique pas toujours la meilleure façon de régler la dose d'épandage. Les indications de réglage des différents éléments de la machine sont souvent imprécises, voire fausses ou absentes. Il y a donc à ce sujet une large marge de progrès dans un domaine qui s'avère prioritaire.

Cette étude s'est volontairement limitée au cas de la répartition d'épandage et au risque de lessivage de nitrates supposé majeur en épandage de matières organiques. Cette approche ciblée a accompagné le lancement du projet ECODEFI développé sous l'égide de l'Agence nationale de la recherche. Dans une démarche d'éco-conception, ce projet multi-partenarial vise à

considérer l'ensemble des impacts potentiels de l'épandage pour les relier aux performances mécaniques des appareils. Il sera donc possible d'appréhender l'épandage dans sa globalité avec les risques d'émission de gaz à effet de serre, les risques d'eutrophisation, d'acidification et de toxicité. Les résultats devraient conforter la principale conclusion de notre étude : le besoin de compléter une bonne répartition par la fiabilité du réglage de la dose. ■

Les auteurs

François Thirion

Cemagref, Centre de Clermont-Ferrand,
UR TSCF,
Technologies et systèmes d'information
pour les agrosystèmes,
Domaine des Palaquins,
03150 Montoldre

Marilys Pradel

Cemagref, Centre de Clermont-Ferrand,
UR TSCF,
Technologies et systèmes d'information
pour les agrosystèmes,
Domaine des Palaquins,
03150 Montoldre
marilys.pradel@cemagref.fr

Remerciements

Nous remercions l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) qui a subventionné cette étude dans le cadre du projet « Ecoimpact ».

QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

COMMISSION EUROPÉENNE, 2007, La Commission confirme sa décision de mars 2007 de saisir la Cour une seconde fois dans l'affaire relative à la pollution par les nitrates des eaux de surface en Bretagne, *Communiqué IP/07/954 du 27 juin 2007*, 2 p.

AFNOR, 2003, *Norme française EN 13080, Épandeurs de fumier – Protection de l'environnement – Prescriptions et méthodes d'essai*, 19 p.

ROUSSELET, M., MAZOYER, J., 2006, Évaluation des performances des épandeurs de fumier : premiers résultats selon la norme NF EN 13080, *Ingénieries-EAT*, n° 46, p. 79-92.