

La fertilisation du maïs fourrage dans les exploitations d'élevage

P. Desvignes¹, J.M. Bodet²

Les éleveurs, qui cherchent à valoriser au mieux les éléments fertilisants des déjections animales, disposent actuellement d'une méthode de raisonnement de la fertilisation du maïs basée sur la méthode du bilan, qui permet de réduire les apports d'engrais minéraux et de minimiser les risques pour l'environnement.

RESUME

La méthode de raisonnement de la fertilisation ici présentée permet d'équilibrer les prélèvements et les fournitures d'azote au niveau d'une parcelle et de réduire ainsi les risques pour l'environnement. Des progrès ont été réalisés récemment dans la connaissance des besoins d'une culture de maïs et de la disponibilité de l'azote des déjections pour cette culture à travers l'utilisation de coefficients apparents d'utilisation et de coefficients d'équivalence "engrais minéral". Il est ainsi possible de calculer la quantité de déjections animales qui permettra de réduire au maximum les apports d'engrais minéraux tout en préservant l'environnement. Quand ils seront disponibles, des outils de diagnostic permettant de déterminer, en temps réel, les conditions d'alimentation en azote d'un peuplement végétal permettront d'affiner encore la méthode.

MOTS CLES

Fertilisation azotée, fertilisation minérale, fertilisation organique, fertilisation phosphatée, fertilisation potassique, fertilisation raisonnée, maïs.

KEY-WORDS

Maize, mineral fertilization, nitrogen fertilization, organic fertilization, phosphate fertilization, potassic fertilization, rational fertilization.

AUTEURS

1 : AGPM, Station ITCF, F-91720 Boigneville ; e-mail : philippe.desvignes@agpm.com

2 : ITCF, La Jaillière, F-44370 La Chapelle-Saint-Sauveur ; e-mail : jmbodet@itcf.fr

Le maïs fourrage est en général produit sur des exploitations qui le valorisent directement. L'éleveur doit, à la fois, garantir l'alimentation de son troupeau, donc produire suffisamment, et respecter l'environnement, en modérant l'usage qu'il fait des facteurs d'augmentation de la production qui risquent de se retrouver dans l'environnement.

L'objectif de l'éleveur est de réduire au maximum, voire de supprimer les apports d'engrais minéraux. C'est théoriquement possible à partir des déjections animales produites par son élevage. Ces déjections comportent des minéraux qui, pour la plupart, sont utilisables en l'état, ou après transformation dans le sol.

Le tableau 1 donne une idée des quantités d'azote, acide phosphorique et potasse fournies par un hectare de maïs produisant 12 tonnes de matière sèche. Si l'on dresse un bilan rapide des entrées et des sorties des mêmes éléments pour 2 vaches nourries pendant un an par ce même hectare de maïs, on se rend compte que les quantités restituées par les vaches ne sont pas très différentes des exportations de la culture, en particulier pour l'azote et l'acide phosphorique (Le Gall, 1996 et 1997).

Tableau 1 : Bilan des éléments fertilisants pour 1 ha de maïs utilisé par des vaches laitières.

Table 1 : Nutrient balance-sheet for 1 ha of maize utilized by dairy cows.

	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
Apports par les aliments			
- Ensilage de maïs (12 t MS = 10 t MS utiles)	156	66	150
- Complémentation (1 500 kg tourteau de soja + 1 000 kg céréales + CMV)	125	48	38
Total	281	114	188
Exportations par le lait (14 000 l : 2 vaches x 365 j)	74	35	42
Restitutions (apports - exportations)	207	79	146
Pertes par volatilisation*	62	-	-
Restitutions par les déjections	145	79	146

* Hypothèse de 30% de pertes par volatilisation en cours de stockage et à l'épandage : 20% de pertes à l'étable et au stockage / N total ; 60% de pertes / N-NH⁴ du fumier ; 30% de pertes / N-NH⁴ du lisier

1. Un bilan azoté à la parcelle

En matière de prévision de la fumure azotée du maïs fourrage, le raisonnement à partir d'un bilan incluant un coefficient apparent d'utilisation de l'azote apporté (COMIFER, 1996) permet un meilleur ajustement des doses, à condition de bien évaluer les différents postes de ce bilan :

$$bY = N_0 + CAU (X + X_a) \text{ avec :}$$

- Y, l'objectif de rendement,
- b, le besoin d'azote par tonne de matière sèche produite,
- N₀, la quantité d'azote fournie par le sol à la culture sur un témoin ne recevant ni engrais minéral, ni déjection animale,
- CAU, le coefficient apparent d'utilisation de l'azote l'année de l'apport,
- X_a, l'équivalent en azote "engrais minéral" des apports organiques de l'année,
- X, la quantité d'azote minéral que l'on cherche à ajuster.

Des progrès importants ont été réalisés dans la connaissance des termes de ce bilan :

- Des objectifs de production ont pu être définis régionalement à partir des travaux réalisés par les groupes "Potentialités" (Lorgeou *et al.*, 1996). Lorsque ce n'est pas le cas, il est convenu de retenir la moyenne des 3 meilleurs rendements des 5 dernières années sur la parcelle, ou sur une parcelle proche.

- Les besoins par tonne de matière sèche (MS) doivent être modulés en fonction :

- de l'objectif de rendement, du simple fait du phénomène de dilution de l'azote dans la matière sèche produite (Plenet, 1995). Ainsi, le besoin par unité de production va varier de 15,7 kg N/t MS pour une production de 8 t/ha à 11,2 kg/t MS pour une production de 20 t MS ;

- de la nature génétique de la variété choisie. En effet, les variétés ne réagissent pas de la même façon à l'abondance ou au manque d'azote. Ainsi, la teneur en Matières Azotées Totales (MAT) d'une variété précoce, comme Anjou 285, ne va augmenter que de 1,6 point d'une situation sans azote à une situation normalement fertilisée, alors que celle d'une variété du même groupe de précocité, comme Fanion, à niveau de production égal, va augmenter de 2,7 points. On retrouve le même type de phénomène avec les variétés tardives : la teneur en MAT de Volga n'augmente que de 1,7 point alors que celle de Dunia varie de 3,3 points.

Ceci n'est pas sans conséquence sur la complémentation de l'ensilage par l'éleveur et pourrait avoir des applications en termes de sélection, en particulier si les recherches relatives aux gènes qui régissent le métabolisme de l'azote aboutissent. Cependant, les résultats obtenus ne permettent pas encore de fournir à l'éleveur les valeurs propres à chaque variété actuellement commercialisée.

- Pour la fourniture d'azote à la culture par un témoin non fertilisé cette année là, la valeur à retenir intègre les arrière-effets des apports réguliers d'engrais organiques des années précédentes, mais aussi l'azote minéral issu des reliquats de l'année précédente, l'azote minéral libéré par minéralisation de l'humus ou des résidus de la culture précédente... Le préalable " idéal " à l'utilisation d'une telle formulation du bilan est l'établissement d'une typologie des situations culturales. Cette démarche a été entreprise dans de nombreuses régions. Le tableau 2_rassemble les valeurs minimales observées dans au moins 80% des cas pour la région Pays-de-la-Loire.

Tableau 2 : Fournitures d'azote par le sol sur des parcelles non fertilisées (420 parcelles observées de 1986 à 1995 en systèmes à dominante élevage des Pays-de-la-Loire ; limons sur schistes du Massif armoricain).

Table 2 : Nitrogen supply by the soil of unfertilized plots (420 plots observed from 1986 to 1995 on farms of Pays-de-la-Loire region with a dominant animal-rearing activity ; loam soils on shales from the Armorican Massif).

Situation	Fourniture par le sol (kg N/ha)
Sol sain, irrigué, sans apport organique	120
Culture sèche, excellente situation, apports organiques	160
Culture sèche, réserve utile < 120 mm, apports organiques réguliers	150
Culture sèche, potentiel limité et apports organiques	100

- Le coefficient apparent d'utilisation (CAU) est très variable, notamment en fonction de la date d'apport des engrais. Les essais conduits de 1986 à 1988 (Desvignes,1992) ont permis de retenir les valeurs de 0,6 pour un apport effectué avant le stade 4 à 6 feuilles, et 0,8 pour un apport après le stade 6 à 8 feuilles. Mais tout ce qui affecte la croissance du maïs fait varier le CAU : la structure du sol, le climat...

En ce qui concerne le phosphore et la potasse, le bilan à la parcelle est beaucoup plus facile à réaliser. Le tableau 3_indique les besoins, et les exportations, en P_2O_5 et K_2O d'une production de maïs fourrage. Le phosphore est absorbé en quantité modérée et assez régulièrement tout au long de la culture. Le rythme d'absorption de la potasse est tout à fait identique à celui de l'azote, avec un pic d'absorption situé entre le stade 6 à 8 feuilles et la floraison. Une grande partie de la potasse absorbée est exportée mais sera rapportée à la parcelle avec les engrais de ferme.

Tableau 3 : Besoins et exportations de phosphore et de potasse pour le maïs (en kg d'élément).

Table 3 : Requirements and removals of P and K of a maize crop (kg of each element).

	Pour 1 t MS		Exemple pour 14 t MS	
	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
Prélèvements = besoins	4,2	15	58,8	210
Exportations par les plantes entières	3,9	11,6	54,6	162,4

2. Gestion des engrais de ferme

La valeur fertilisante des déjections dépend de leur composition et des pertes qui les affectent. Pour l'azote en particulier, plus la teneur en cet élément sous une forme minérale est importante, plus son utilisation par les plantes sera bonne. La plupart des travaux réalisés sur la fertilisation des maïs avec des déjections animales (Fauvel et Morvan, 1998 ; Ziegler, 1994 ; Desvignes, 1995) montrent qu'il est parfaitement possible d'ajuster les quantités d'engrais de ferme apportées aux besoins du maïs, sans transformer les parcelles de maïs en "décharge" des engrais de ferme. En particulier, quel que soit l'élément fertilisant considéré, on commence à disposer de quelques données relatives à l'équivalence "engrais minéral" de cet élément dans les déjections animales (tableaux 4 et 5 et brochure *Fertiliser avec des engrais de ferme*, ITCF, IE, ITP, à paraître). Ce coefficient d'équivalence permet de calculer à quelle quantité d'élément sous forme d'engrais minéral rapidement utilisable par la culture (par exemple, l'ammonitrate, le superphosphate) correspond la quantité d'élément apporté sous forme de déjection animale.

La démarche sera la suivante :

- calcul de la quantité d'élément nécessaire sous forme minérale pour satisfaire les besoins de la culture ;
- détermination, par l'intermédiaire de coefficients d'équivalence "engrais minéral" pour l'azote, le phosphore ou le potassium appliqués aux éléments contenus dans les engrais de ferme, de la quantité d'engrais de ferme ayant le même effet que la dose retenue à l'étape précédente, selon la formule suivante :

Quantité d'engrais de ferme = Dose / (Teneur x Kéq N) , avec :

- Quantité d'engrais de ferme : celle qui est nécessaire pour satisfaire les besoins du maïs (en t ou m³/ha),
- Dose : la dose d'élément "engrais minéral" nécessaire pour satisfaire les besoins du maïs (en kg ha),
- Teneur : la teneur en élément total de l'engrais de ferme (en kg/t ou m³),
- Kéq N : le coefficient d'équivalence "engrais minéral" de l'élément total de l'engrais de ferme.

Il est ensuite nécessaire de vérifier la cohérence des quantités trouvées avec les contraintes agri-environnementales, et avec les possibilités matérielles d'épandre de telles quantités. Ainsi, un conseil qui consisterait à limiter les doses de fumier à apporter à moins de 20 t/ha ne pourrait pas être suivi puisque le matériel disponible actuellement ne permet pas de réaliser des apports inférieurs à cette quantité. L'intégralité de la démarche est détaillée dans la brochure *Fertiliser avec des engrais de ferme* (à paraître).

Ainsi, pour P₂O₅ et K₂O, on peut considérer que l'efficacité de ces éléments contenus dans les déjections animales et leur disponibilité pour le maïs qui les reçoit est assez bien connue pour être intégrée dans un plan de fumure (tableau 4). Souvent l'apport des déjections animales de l'exploitation suffit pour entretenir le niveau des réserves du sol, satisfaire les besoins de la culture et permettre la suppression totale des engrais minéraux phosphatés ou potassiques.

En ce qui concerne l'azote, compte tenu de la variabilité des proportions des différentes formes d'azote (nitrique, ammoniacale ou organique) dans les différents types de déjections, il serait indispensable de pouvoir disposer de coefficients d'équivalence propres à chacun des types de déjection. C'est le cas pour quelques engrais de ferme (tableau 5) ; mais il reste encore beaucoup à faire, la lourdeur des essais nécessaire étant sûrement responsable de cette situation.

Tableau 4 : Coefficients d'équivalence "engrais minéral" en phosphore (KéqP) et potassium (KéqK) des engrais de ferme.

Table 4 : Mineral nutrient equivalence coefficients for phosphorus (KéqP) and for potash (KéqK) of farm fertilizers.

Nature de l'engrais de ferme	KéqP du P ₂ O ₅ total	KéqK du K ₂ O total
Fumiers de bovins, d'ovins, de caprins, de porcs ou de chevaux, lisier de bovins, purins	1	1
Lisier de porcs et composts issus de ces lisiers	0,85	1
Lisier de volailles, de lapins, fientes ou fumier de volailles et composts issus de ces produits	0,65	1

Tableau 5 : Coefficients d'équivalence azote "engrais minéral" de l'azote total des engrais de ferme (Kéq N) applicables sur les maïs (effets directs en l'absence de volatilisation d'ammoniac).

Table 5 : Mineral nutrient equivalence coefficients for total nitrogen of farm fertilizers (KéqN) applicable to maize crops (direct effects in the absence of ammonia volatilization).

Produits	Période d'apport	Mode d'apport	Régions à climat	
			Océanique	Continental
Fumiers de bovins et de porcs	Automne - hiver	En surface	0,20	0,05
	Printemps	En surface	0,30	-
Composts et fumiers de bovins ou de porcs	Automne - hiver	En surface	0,15	-
	Printemps	En surface	0,25	0
Composts de fumiers de volailles	Printemps	En surface	0,40	-
Fientes et fumiers de volailles	Printemps	En surface	0,60	-
Lisiers de bovins	Printemps	En surface	0,50	-
	Début été	Localisé, au stade 6-8 feuilles	0,60	-
Lisiers de porcs ou de volailles	Printemps	En surface	0,60	-
	Début été	Localisé, au stade 6-8 feuilles	0,70	-

Conclusion

Des progrès très importants ont été réalisés dans la connaissance du devenir de l'azote des déjections animales, en particulier suite aux travaux réalisés à l'INRA de Rennes. Il est ainsi possible de raisonner les apports de déjections animales à partir de la méthode du bilan et de maîtriser le risque environnemental (Morvan, 1996 ; Fauvel et Morvan, 1998). Cependant, en attendant une modélisation solide de la minéralisation de l'azote des déjections animales, et pour réduire encore les risques d'erreur et les conséquences pour l'environnement, il faudrait pouvoir adopter une démarche en 3 étapes :

- d'abord, déterminer la quantité d'azote "engrais minéral" nécessaire à la culture à partir de la méthode du bilan ;

- ensuite, apporter, si possible sous forme d'engrais de ferme, une quantité équivalente à cette quantité diminuée de 50 kg N ;

- enfin, compléter cet apport par un apport tardif de 50 kg N sous forme minérale si, et seulement si, la culture en a effectivement besoin.

La mise au point d'outils de diagnostic tels que JUBIL ou la pince N-tester devraient permettre de progresser dans ce sens, à conditions que ces outils conservent leur robustesse dans les situations d'apports réguliers de déjections, où la minéralisation de l'azote est assez tardive, ceci pouvant conduire à un diagnostic erroné à la floraison. Mais il restera tout de même à résoudre le problème de la possibilité matérielle de réaliser un apport tardif.

Travail présenté aux Journées d'information de l'A.F.P.F.
"Fourrages annuels et environnement",
les 28 et 29 mars 2000.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

COMIFER (1996) : *Calcul de la fertilisation azotée des cultures annuelles. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales.*

Desvignes P. (1992) : "Fumure azotée et bilan simplifié", *Perspectives agricoles*, n° 170, 66-70.

Desvignes P. (1995) : "Enfourir pour mieux valoriser", *Perspectives agricoles*, n° 207, 49-50.

Fauvel T., Morvan T. (1998) : "Management of pig slurry for nitrogen fertilization of corn", *8th Int. conf. on management strategies for organic waste use in agriculture*, Ed. J. Martinez, Cemagref Editions, 97-105.

ITCF, Institut de l'Elevage, ITP : *Fertiliser avec des engrais de ferme* (à paraître).

Le Gall A., Legarto J. (1996) : "Systèmes fourragers et environnement : incidence de l'équilibre herbe-maïs", *Colloque maïs ensilage*, 17-18 septembre 1996, Nantes, AGPM.

Le Gall A., Legarto J., Pflimlin A. (1997) : "Place du maïs et de la prairie dans les systèmes fourragers laitiers. III Incidence sur l'environnement", *Fourrages*, 150, 147-170.

Lorgeou J. *et al.* (1996) : "Le maïs ensilage en Bretagne. Etude des potentialités", *Perspectives agricoles*, n° 215.

Morvan T. (1996) : "Utilisation par le maïs et devenir dans le sol de l'azote ammoniacal du lisier de porcs apporté en plein, au stade 6 feuilles", *Colloque maïs ensilage*, 17-18 septembre 1996, Nantes, AGPM.

Plenet D. (1995) : *Fonctionnement des cultures de maïs sous contrainte azotée*, thèse de doctorat INPL-INRA Bordeaux Agronomie.

Ziegler D. (1994) : "Valorisation agronomique des engrais de ferme", *Fourrages*, n°139, 265-278.

SUMMARY

Fertilization of forage maize on animal farms

To farmers wishing to utilize at best the fertilizing elements contained in the excreta of their livestock, there is presently available a method of determining rationally the fertilization of maize, based on the balance-sheet principle, which limits the inputs of mineral fertilizers and minimizes the environmental risks. This method balances the uptake and the supply of N at the field level and reduces the risks for the environment. Progress has recently been made in the knowledge of the requirements of maize crop and of the availability of N from the excreta thanks to the use of 'apparent utilization coefficients' and of 'mineral nutrient equivalence coefficients'. In this way, the amount of animal excreta can be calculated, so as to limit as strictly as possible the inputs of mineral fertilizer and to preserve the quality of the environment. When diagnostic tools for the determination, in real time, of the N nutrition of plant covers will be available, it will be possible to refine the method still further.