

RÉUSSIR LA FERTILISATION DU MAÏS

Ajuster la dose d'engrais azoté à la parcelle

L'ajustement de la dose d'engrais azoté à la parcelle passe par un calcul rigoureux des besoins en azote du maïs et des fournitures totales en azote du sol (reliquat au semis, minéralisation de l'humus...). Pour viser une efficacité maximale, le choix de la date et de la forme de l'apport est primordial. Les effluents d'élevage peuvent couvrir de 30 à 80 % des besoins en fertilisants du maïs fourrage.

Dans un contexte où la recherche de la compétitivité est au cœur des préoccupations des éleveurs, les effluents d'élevage s'avèrent précieux pour maîtriser les charges de fertilisation du maïs fourrage.

Le chiffre du mois

80% des parcelles de maïs fourrage reçoivent une fumure organique.



ESTIMER LES BESOINS EN AZOTE DE LA CULTURE

Le calcul de la dose optimale d'engrais azoté à apporter sur maïs nécessite d'adopter une démarche rigoureuse. Première étape : déterminer le besoin d'azote de la culture. Il est fonction du niveau de production visé et du type de production : grain, fourrage ou doux (tableau 1).

Ces valeurs de besoin unitaire du maïs peuvent faire l'objet de régionalisation en cas de références locales significatives.

De façon générale, et particulièrement pour le maïs semence, il conviendra de prendre en compte la quantité d'azote que les racines ne peuvent extraire. Cette valeur est dépendante du type de sol et fait l'objet d'un référentiel régional.

Besoins en azote de la culture = objectif de rendement × besoin unitaire

Besoins en azote de la culture = besoins en azote du maïs + azote non extractible

Tableau 1 : quantité d'azote absorbée par le maïs pour produire une unité de production

Type de production	Potentiel de production	Besoin unitaire (kg N/unité de production)
Maïs grain	< 100 q/ha	2.3
	100 -120 q/ha	2.2
	> 120 q/ha	2.1
Maïs fourrage	< 14 Tonnes de MS/ha	14
	14 – 18 Tonnes de MS/ha	13
	> 18 Tonnes de MS/ha	12
Maïs doux	Tonnes d'épis avec spathes	10
	Tonnes d'épis sans spathes	12

Ces valeurs de besoin unitaire du maïs peuvent faire l'objet de régionalisation en cas de références locales significatives.

Pour le maïs semence, le calcul est légèrement différent, car il tient compte du niveau de production visé (tableau 2) mais aussi du dispositif de semis (tableau 3).

**Besoins en azote de la culture =
besoins en azote des femelles ÷ coef. d'occupation du sol des femelles**

Tableau 2 : quantité d'azote absorbée par le maïs semence par niveau de production

Rendement femelle (q/ha)	0-10	0-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-70	70-...
Besoin en azote des femelles (kgN/ha)	70	85	95	105	115	125	130	135	140	145	150	155	165

Tableau 3 : coefficient d'occupation du sol par les femelles

Dispositif de semis	6X3	6X2	4X2 normal	4X2 réduit	4X3	2X1X2X2 réduit	2X2	Interplanting	Semences de base
Coefficient d'occupation du sol par les femelles	0,75	0,77	0,69	0,71	0,67	0,63	0,57	0,67	1

ESTIMER LES FOURNITURES TOTALES D'AZOTE

Une fois les besoins en azote de la culture calculés, il faut estimer les fournitures totales d'azote. Elles sont constituées a minima de l'azote présent dans le sol au moment du semis, et de la minéralisation de l'humus.

► Estimer la quantité d'azote présent dans le sol au moment du semis

Il est nécessaire de connaître la quantité d'azote présent au moment du semis dans le sol, notamment pour calculer la dose d'azote à apporter au semis. Il existe plusieurs moyens d'y accéder : la mesure du reliquat d'azote minéral sur la profondeur d'enracinement, les synthèses des campagnes de mesure du reliquat diffusées annuellement dans certaines régions, ou alors par modélisation comme dans le Sud-Ouest de la France.

► Calculer la quantité d'azote issue de la minéralisation de l'humus

Le maïs étant une culture d'été, la minéralisation de l'humus du sol est intense à cette période, surtout si la culture est irriguée. Il convient donc d'intégrer au plan de fumure la quantité d'azote issue de la minéralisation de l'humus entre le semis et le stade maturité physiologique. Cette quantité dépend du type de sol, de l'irrigation ou non de la parcelle, et de la longueur du cycle du maïs. Il existe un référentiel de ces valeurs par région.



► Estimer la minéralisation des résidus du précédent et de la culture intermédiaire

Les résidus de culture restitués par le précédent et la culture intermédiaire vont contribuer aux fournitures du sol lorsqu'ils seront dégradés par la biomasse microbienne. L'effet peut être positif, pour des résidus riches en azote issus de légumineuse par exemple, ou négatif comme pour des résidus pauvres en azote comme des cannes de maïs ou des pailles de blé. Il convient donc de prendre aussi en compte ce poste dans le bilan. Il existe des abaques du COMIFER à cet effet, repris dans les référentiels régionaux.

► Calculer les effets directs des apports organiques récents

Dans le cas d'apports organiques avant maïs, il est impératif de calculer leur contribution à la fourniture d'azote. La valeur fertilisante d'un apport organique dépend de la quantité de matière épandue, de sa teneur en azote et du coefficient d'équivalence d'un engrais minéral (Keq).

**Effet direct des PRO =
Quantité de produit brut ×
Teneur en azote total × Keq**

► Prendre en compte l'azote apporté par l'eau d'irrigation

Enfin, l'eau d'irrigation peut apporter dans certains cas une quantité d'azote minéral non négligeable. Cette quantité peut être calculée en multipliant la teneur en nitrates de l'eau par la quantité d'eau prévue jusqu'à trois semaines après floraison.

**Quantité d'azote dans l'eau d'irrigation =
Quantité d'eau d'irrigation × Teneur en nitrates
443**

RÉALISER L'APPORT PRINCIPAL ENTRE 4 ET 10 FEUILLES

Calculer la dose d'engrais à apporter ne suffit pas à optimiser la conduite de la fertilisation azotée du maïs. Il faut apporter l'azote au bon moment afin de suivre au plus près les besoins de la culture au cours de sa croissance. Les besoins en azote du maïs deviennent

importants après le stade 10 feuilles. Pour couvrir au mieux cette période, l'apport principal doit être réalisé entre 4 et 10 feuilles, l'idéal étant de l'appliquer autour des stades 6-8 feuilles. Cependant, un apport au semis est nécessaire lorsque le reliquat azote dans le sol est inférieur à 60 kg/ha. Une dose de 40 kg/ha suffit à satisfaire les besoins d'azote des jeunes plantes jusqu'à 10 feuilles.

ATTENTION AUX PERTES PAR VOLATILISATION

Reste à choisir la forme d'engrais. L'efficacité de l'engrais apporté après le stade 4 feuilles du maïs dépend principalement des pertes par voie gazeuse, soit d'ammoniac provenant des engrais ammoniacaux et uréiques, soit dans une moindre mesure d'azote moléculaire et d'oxydes d'azote provenant de la réduction du nitrate lorsque le sol est très humide. L'ammonitrate, le sulfate d'ammonium et le phosphate d'ammonium ont des efficacités équivalentes. En revanche, l'urée est particulièrement sensible aux pertes par volatilisation. L'enfouissement dans le sol de l'urée à 10-15 cm de profondeur lui confère la même efficacité que l'ammonitrate. En cas d'application en surface, il convient de biner rapidement pour améliorer l'efficacité de l'engrais.

VALORISER LES EFFLUENTS ORGANIQUES SUR MAÏS FOURRAGE

Aujourd'hui, plus de 80 % des parcelles de maïs fourrage reçoivent une fumure organique.

Les besoins en azote du maïs s'expriment essentiellement de la mi-juin à fin août et peuvent être satisfaits en grande partie par l'azote des engrais de ferme apportés avant le semis. Il en est de même des besoins en phosphore et en potassium.

Tableau 4 : Valeurs moyennes des besoins totaux en azote (plante entière) et des exportations en phosphore et potassium

	Exportation en N	Exportation en P ₂ O ₅	Exportation en K ₂ O
Maïs fourrage	12,5 Kg/tonne de MS	4,2 Kg/tonne de MS	11,9 Kg/tonne de MS
Maïs grain (cannes restituées au sol)	2,2 Kg/quintal	0,6 Kg/quintal	0,55 Kg/quintal

► Comment utiliser les engrais de ferme ?

Tous les types d'engrais de ferme peuvent être épandus avant une culture de maïs à condition de respecter les périodes recommandées pour chaque produit ainsi que la réglementation.

La principale contrainte est, naturellement, de ne pas apporter de dose d'engrais de ferme fournissant des quantités d'azote minéral supérieures aux besoins du maïs qui suit.

Dans la plupart des situations, la gestion des engrais de ferme sur maïs pourra se faire comme suit :

- apporter une dose d'engrais de ferme satisfaisant les besoins en phosphore et en potassium du maïs ;
- épandre, si besoin, de l'engrais minéral azoté en complément de l'azote apporté par l'engrais de ferme, en prenant également en

compte celui apporté par un éventuel engrais starter appliqué au semis ;

- ne pas apporter d'engrais de ferme après un retournement de prairie.

A titre d'exemple, un apport de 25 à 30 tonnes de fumier de bovin pourra couvrir les besoins en phosphore et en potasse d'un maïs fourrage à 15 t MS/ha. Un complément d'azote devra être apporté sous forme minérale.

► **Des stratégies différentes selon la nature des effluents**

Les fumiers frais pailleux doivent être apportés au moins deux mois avant l'implantation du maïs car la remobilisation de l'azote du sol mis en jeu pour la dégradation du fumier épandu trop près du semis peut nuire à l'installation et à la croissance du maïs (« faim d'azote »).

A l'inverse, d'autres produits doivent être appliqués au plus près du semis du maïs. C'est par exemple le cas des fientes, des fumiers stockés de volailles, des lisiers de bovins, des lisiers de porcs et des lisiers de volailles. Ces deux derniers produits peuvent même être apportés après le semis : le lisier apporté au stade 6-8 feuilles est très bien valorisé par le maïs.

► **Enfouir rapidement les lisiers pour économiser de l'azote et prévenir les émissions de gaz à effets de serre**

La forme ammoniacale constitue la majeure partie de la fraction azotée présente dans les lisiers de porcs, les fumiers et lisiers de volailles. Cette forme d'azote est soumise au phénomène de volatilisation dans l'atmosphère qui débute immédiatement après épandage. Ce processus rapide est fortement lié aux conditions climatiques. Ainsi, un épandage sur sol sec, avec un temps venté et chaud, favorise le phénomène. Au final, la volatilisation peut parfois affecter plus de 50 % de l'azote ammoniacal lorsque les conditions climatiques sont défavorables.

Un enfouissement rapide doit donc être réalisé le plus vite possible après épandage, au plus tard dans les 2-3 heures, afin de limiter au maximum les pertes d'azote. Il est recommandé d'incorporer également les apports réalisés en végétation par un binage, ou mieux d'injecter le lisier dans l'inter rang.

► **Quelle est la valeur fertilisante des engrais de ferme ?**

Pour l'azote, les effets des engrais de ferme l'année de l'apport dépendent du type d'effluent et de la date d'épandage. Ainsi l'azote apporté par un fumier de bovins épandu au printemps (4 à 5 unités par tonne de produit frais) est valorisé à 30 % par le maïs. Les effets constatés l'année suivante sont faibles car la majeure partie de l'azote restant est intégrée dans le stock d'azote organique du sol et se minéralise à une vitesse proche de celle de la matière organique. Les effets d'un retournement de prairies sont également à prendre en compte pour évaluer les fournitures d'azote du sol.

Sur le long terme, les apports répétés d'engrais de ferme modifient la teneur en matière organique et par conséquent les fournitures d'azote par la minéralisation du sol.

Pour le phosphore et le potassium, l'apport des engrais de ferme peut se substituer en partie ou en totalité à un apport d'engrais minéral. Par rapport au phosphore minéral, l'efficacité du phosphore issu des engrais de ferme, l'année de l'apport, est de l'ordre de 70 % pour les composts de fumier de bovins, 80 % pour les fumiers de bovins, 95 % pour les lisiers et fumiers de porcs. Après un an de présence dans le sol, le phosphore des engrais de ferme a le même effet sur l'enrichissement du sol que les engrais phosphatés solubles dans l'eau.

Quant au potassium contenu dans les engrais de ferme, il a exactement la même efficacité que celui contenu dans les engrais minéraux. Il aura donc le même rôle que la même quantité



Plus de 80 % des parcelles de maïs fourrage reçoivent une fumure organique : un intérêt économique et environnemental appréciable.

de potassium apportée à la même période par un engrais minéral.

► **Que devient l'azote des produits résiduaux organiques ?**

Après l'épandage d'un Produit Résiduaire Organique, une partie de l'azote qu'il contient est directement assimilable par la culture réceptrice : c'est la fraction minérale de l'azote. Le reste minéralise au cours de l'année voire des 2 années suivant l'apport ou est stocké dans la matière organique du sol.

Les produits résiduaux organiques (PRO) apportent de l'azote sous forme minérale et/ou organique. La répartition de ces deux formes dans les différents PRO conduit à distinguer deux types d'effets pour l'alimentation azotée des cultures : un effet à court terme et un autre à long terme.

L'effet à court terme est lié à la fraction azotée minérale et à la fraction organique rapidement décomposable (qui est en partie comptabilisée dans le reliquat d'azote minéral du sol si l'apport d'un PRO se fait avant l'hiver par exemple). Ces fractions peuvent être absorbées par la culture réceptrice et éventuellement par la suivante selon le climat et le système de culture.

L'effet à long terme est lié à la modification du stock d'azote organique du sol et à sa vitesse de minéralisation. Celle-ci ne se « verra » sur les cultures qu'à travers le cumul d'apports réguliers pendant au moins une dizaine d'années. A noter que cet effet sera moins rapidement visible pour les PRO tels que les lisiers, les fumiers de volailles avec des doses d'apport de C organique plus faibles, que pour des fumiers de bovins ou de porcs.

Trois sources de pertes possibles

Une part de l'azote minéral et de l'azote organique qui minéralise peut être perdue par volatilisation, lixiviation ou dénitrification.

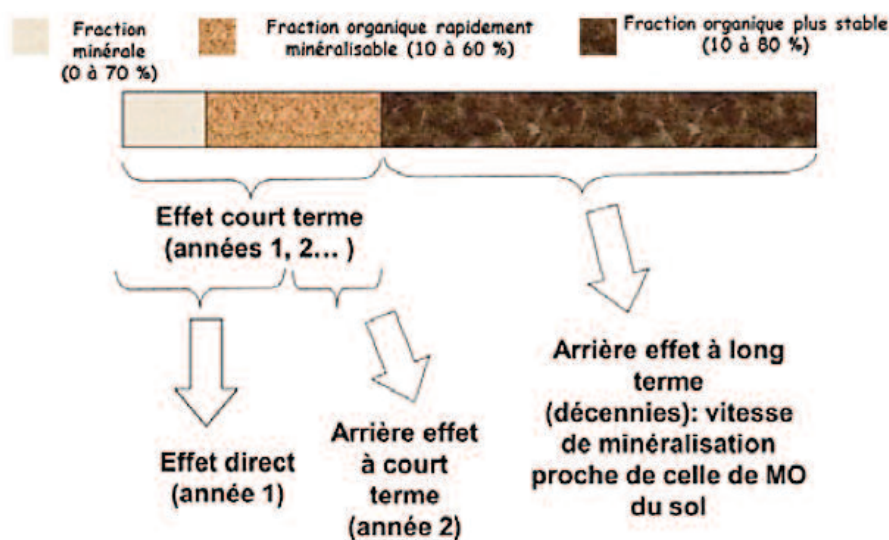
Pendant les périodes de drainage, l'azote nitrique - issu de la nitrification de l'azote ammoniacal apporté par les PRO ou de la minéralisation de l'azote organique - peut être lessivé. Ces pertes peuvent mettre en jeu des quantités importantes d'azote notamment dans le cas d'apports de PRO riches en azote ammoniacal avant la période de drainage sur sol nu ou culture à faible croissance.

Une part importante de l'azote ammoniacal peut également être perdue par volatilisation si les produits ne sont pas immédiatement et correctement incorporés dans le sol. Les pertes d'azote par dénitrification (pertes par voie gazeuse) représentent des quantités beaucoup plus faibles que celles mises en jeu par la volatilisation ammoniacale.

Adapter la fertilisation organique selon les besoins de la culture

La connaissance des formes d'azote des PRO renseigne sur leur disponibilité dans le temps pour les cultures et permet d'adapter les apports selon les besoins des plantes. Par exemple, les lisiers contiennent au moins 50 % d'azote sous forme ammoniacale et contribuent à l'alimentation azotée quasi immédiate des plantes. D'autres comme les composts apportent surtout de l'azote sous forme organique, la contribution immédiate à la culture réceptrice est plus limitée.

Figure : Schéma du devenir des différentes fractions de l'azote contenues dans les PRO. La majorité de l'azote est libéré l'année suivant l'apport



FOCUS RECHERCHE : Fertiliser le maïs avec la méthode Cultan



Quatre ans de recherche ont permis de formaliser la mise en œuvre pratique d'un système de localisation d'engrais azoté sous forme solide sur maïs. Injecter de l'azote en profondeur permet de produire tout en préservant la qualité de l'eau et de l'air. Tour d'horizon des principaux résultats du projet Indee conduit en Alsace.

L'outil d'injection d'azote dans le sol a été conçu pour réduire au maximum le travail du sol, tout en positionnant le dépôt d'azote à une profondeur constante, en perturbant le moins possible le sol et en refermant correctement le sillon pour éviter toute perte d'azote par volatilisation.

Le conseil technique du moment

RÉALISER L'APPORT PRINCIPAL AU STADE 6-8 FEUILLES

Pour valoriser au mieux les apports azotés sur maïs, il faut apporter l'azote au bon moment et bien choisir la modalité d'apport pour éviter les pertes par volatilisation. Le maïs absorbe l'essentiel de l'azote entre les stades 6-8 feuilles et fin floraison. Il convient donc de réaliser l'apport principal juste avant cette période.

Jusqu'au stade 6-8 feuilles, les besoins du maïs en azote sont assez limités. Aussi, le premier apport doit se limiter à la dose nécessaire au démarrage de la plante. Une fois le stade 6-8 feuilles dépassé, les besoins en azote de la culture augmentent fortement et restent à un niveau élevé jusqu'à la fin de la floraison femelle. Entre ces deux stades, le maïs absorbe 85% de ses besoins en azote. Pour valoriser au mieux l'azote, l'apport principal doit donc être réalisé autour du stade 6-8 feuilles.

Attention aux pertes par volatilisation. Dans de bonnes conditions d'utilisation, l'efficacité de l'azote absorbé est comparable pour les différentes formes d'engrais azoté. Cependant, l'urée est fortement sensible aux pertes par volatilisation. Elles sont d'autant plus importantes pour des sols sableux ou à faibles CEC. Pour limiter ces pertes et obtenir une efficacité équivalente à celle de l'ammonitrate, l'urée doit être enfouie assez profondément dans le sol pour que l'ammoniac qui se dégage soit fixé avant d'atteindre la surface du sol.

Le binage ne suffit pas pour réduire suffisamment les pertes par volatilisation. Le risque de volatilisation de l'urée peut aussi être fortement atténué si une pluie suffisante suit de peu l'épandage (20 à 30 mm) pour transférer l'urée en profondeur.

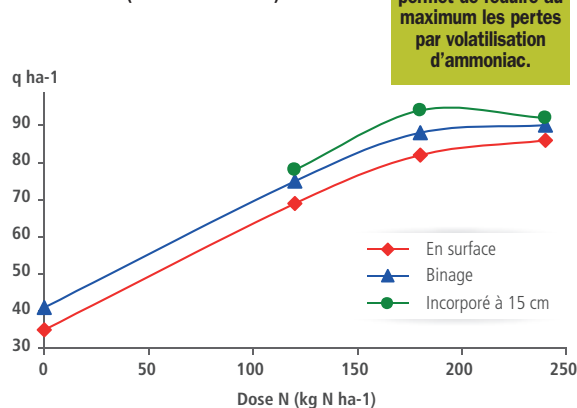
Méthode du Bilan Prévisionnel

La méthode du bilan prévisionnel permet le calcul de la dose totale d'engrais azotés à apporter en fonction des besoins prévisibles de la culture.

Pour un conseil pertinent et ajusté au mieux, la méthode du bilan prévisionnel nécessite une estimation précise :

- des besoins de la culture, dépendant essentiellement de l'objectif de rendement
- des fournitures du sol : reliquat sortie hiver mesuré, calculé ou estimé régulièrement, minéralisation des résidus de la récolte précédente et de la matière organique, minéralisation issue des apports d'engrais organiques.

Influence du mode d'apport de l'urée sur la production du maïs dans un sol limoneux des Landes (Inra - Cofaz 1985)



L'incorporation profonde de l'urée permet de réduire au maximum les pertes par volatilisation d'ammoniac.

- **Venti-LIS® pour l'auto-diagnostic des installations de ventilation des grains**
Arvalis vient de proposer un outil en ligne de diagnostic des installations de ventilation des grains stockés : Venti-LIS® diagnostic. Gratuit, cet outil est adapté à divers types de grains : blé, orge, colza, tournesol, maïs, sorgho, soja, pois, féverole. Basé sur l'élévation de la température de l'air entre l'entrée et la sortie du ventilateur et sur des données de Météo France, il s'adresse plutôt aux silos des organismes stockeurs français.

Plus d'infos

PUBLICATIONS

- **Maïs : lutte contre les adventices, les ravageurs et les maladies - 2019** (dépliant)

Guides pratiques de traitement contre les ravageurs, les maladies et les mauvaises herbes nuisibles au bon développement du maïs. Matières actives, modes d'action, doses d'utilisation et efficacités de toutes les spécialités regroupées dans un dépliant au format de poche, pratique et facile à utiliser.

Réf 3729 - prix 6 € + port

- **Stades du maïs : comprendre les étapes physiologiques du rendement**

Cette brochure permettra au lecteur de comprendre et de repérer les étapes physiologiques déterminantes pour optimiser le rendement de la culture du maïs.

Réf 3248 - Prix : 19 € TTC + frais de port

- **Diagnostic des accidents du maïs**

Cette brochure décrit en détail plus de 70 accidents observés sur la culture du maïs.

Chaque accident est présenté sous forme de fiche décrivant en détail : les symptômes, la nuisibilité, les situations à risque ainsi que les solutions préventives et curatives.

Réf 3439 - Prix : 30 € TTC + frais de port

A commander sur le site des éditions d'ARVALIS

ÉVÈNEMENT

- **Les Culturales® 2019**

Les 14^{èmes} Culturales® se déroulent les 5 et 6 juin 2019 dans le secteur du Futuroscope aux portes de Poitiers. Ce salon national de plein champ est organisé par ARVALIS - Institut du végétal avec près de 40 partenaires de la recherche, du développement et de la distribution.

Plus d'infos

FORMATIONS

- **Reconnaissance des adventices au stade plantule dans les cultures d'été**

21 mai 2019 - Baziège (31)

- **Accidents du maïs : la méthode pour faire le bon diagnostic**

28 mai 2019 - Loireauxence (44)

28 mai 2019 - Villers Saint Christophe (02)

12 juin 2019 - Montardon (64)

Inscription en ligne