

Optimisation de la fertilisation azotée

Exploitations cibles

Toutes les exploitations avec des terres cultivées.

Enjeux

Qu'ils soient minéraux ou organiques, les engrais contenant de l'azote uréique ou ammoniacal libèrent de l'ammoniac (NH_3). L'ammoniac, gaz irritant, est de plus un précurseur de particules secondaires. En Normandie, en 2014, l'agriculture génère 98 % des émissions régionales d'ammoniac. Les engrais azotés sont responsables de 36 % des émissions d'ammoniac en France¹.

Un des problèmes majeurs de la fertilisation minérale est le fait d'apporter de l'azote dans des conditions inadaptées (quantité mal évaluée, météo, période du cycle cultural, sol) qui induisent une quantité d'azote non mobilisée par les plantes. En moyenne, **moins de la moitié de l'azote apporté par un fertilisant est absorbé par la culture fertilisée**. Cette faible efficacité provient notamment du fait que l'azote apporté est soumis à un certain nombre de processus biologiques et physiques, qui interviennent très tôt après les apports d'azote, et qui sont en forte compétition avec le peuplement végétal (pertes gazeuses, organisation microbienne, transport et lixiviation). Synchroniser l'apport avec les besoins de la plante permet ainsi de limiter les pertes d'azote. Tout apport non valorisé constitue une perte économique sèche pour l'exploitant et un risque pour la qualité de l'air et de l'eau.

Optimiser la fertilisation azotée consiste à trouver le bon équilibre entre besoins de la plante, reliquats du sol et apports exogènes. L'enjeu est de taille tant pour la rentabilité de l'exploitation que pour le bilan environnemental à l'échelle de la parcelle.

Description de l'action et modalités de la mise en œuvre

Il est possible de réduire le recours aux engrais minéraux de synthèse en diminuant à la fois les doses de fertilisant de synthèse et les émissions par unité d'azote apporté en agissant sur :

- le raisonnement et l'optimisation de la fertilisation : apporter la bonne dose d'engrais au bon moment et au bon endroit ;
- la formulation de l'azote : choisir une forme d'engrais qui permet de réduire les pertes par volatilisation et mieux valoriser les effluents d'élevage.

D'autres actions complémentaires permettent également de réduire les apports d'engrais azotés minéraux, comme l'accroissement des surfaces de légumineuses, la généralisation des cultures intermédiaires qui limitent les pertes par lixiviation ou la « désintensification » des prairies les plus fertilisées.

1) Mieux raisonner et piloter le niveau des doses appliquées

- **calculer une dose prévisionnelle,**
- **fixer des objectifs de rendement réalistes,**
- **ajuster les doses de fractionnement en cours de campagne.**

Différents outils existent pour piloter la fertilisation azotée des cultures. Un diagnostic de la teneur en azote du sol, au travers de reliquat entrée et sortie hiver puis au cours du cycle végétal, ainsi qu'un diagnostic de l'état de nutrition azotée du couvert, combinés à des règles de décision et des techniques permettent d'ajuster les apports suivant les besoins.

Le raisonnement de la fertilisation azotée commence en début de campagne avec l'estimation de la **dose totale prévisionnelle** (plan de fumure). Cette technique consiste à déterminer la dose

optimale d'azote à appliquer à une culture pour satisfaire ses besoins en tenant compte des apports du sol et des objectifs de production fixés au préalable. La dose optimale peut être déterminée selon la méthode du COMIFER du bilan de masse prévisionnel. Les besoins des végétaux sont bien référencés pour les cultures traditionnelles. Le rendement visé, lui, est à déterminer pour chaque parcelle. Il est important de fixer des **objectifs de rendement** réalistes, pour permettre un meilleur ajustement de la dose d'engrais minéral et organique aux besoins des cultures. Pour un objectif réaliste, il est recommandé de faire la moyenne des rendements obtenus à la parcelle les cinq dernières années, en excluant les deux valeurs extrêmes. La disponibilité en azote dans le sol est déterminée par les choix de gestion à l'échelle du système de culture et par les conditions pédoclimatiques locales. Des référentiels adaptés aux situations pédoclimatiques de chaque région expliquent comment tenir compte de l'azote du sol. En zone vulnérable, un arrêté préfectoral établit le référentiel de mise en oeuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée détaillant le calcul et donnant les références nécessaires à la détermination de la dose prévisionnelle d'azote à apporter.

Néanmoins, le calcul de la dose prévisionnelle présente un certain nombre d'incertitudes liées notamment aux conditions pédoclimatiques changeantes d'une année sur l'autre. Ces incertitudes peuvent être compensées en partie par l'utilisation d'**outils de raisonnement dynamique et de pilotage de la fertilisation azotée en cours de végétation**. Pour cela, il existe une multitude d'outils basés sur différents principes (mesure du stock d'azote disponible dans le sol, mesure sur le végétal, raisonnement dynamique) et capables de remplir une ou plusieurs fonctions (estimation du poste « azote absorbé » à l'ouverture du bilan, pilotage d'une date d'apport, pilotage d'une dose d'apport en cours de végétation, spatialisation de la dose en fonction de l'hétérogénéité du parcellaire).

2) Optimiser l'efficacité de l'azote apporté

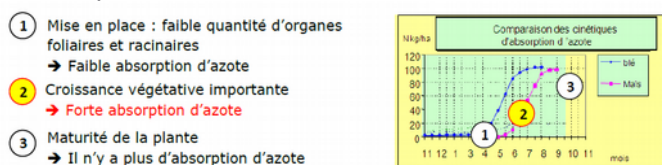
- **supprimer ou retarder si possible le 1^{er} apport d'azote,**
- **fractionner les apports d'azote,**
- **enfouir l'engrais dans le sol.**

L'optimisation de l'efficacité de l'azote apporté peut se réaliser en **retardant les dates d'apport** de l'engrais au début du printemps sur les cultures d'hiver, et en tenant mieux compte des reliquats d'azote minéral en sortie d'hiver. La décision de retarder ce 1^{er} apport dépend de la nature du sol, des propriétés de la variété, des conditions climatiques et de la teneur en azote du sol.

Dans un certain nombre de situations, le premier apport d'azote peut être retardé car le reliquat d'azote mesuré ou estimé à la fin de l'hiver est supérieur aux besoins du peuplement végétal à cette période (mesure applicable potentiellement aux céréales d'hiver et au colza). Cette action conduit à améliorer en moyenne l'efficacité de l'azote apporté sur la culture, et permet de diminuer la dose totale apportée.

La stratégie de **fractionnement des apports** (en général 3 ou 4) repose sur l'étalement des apports d'azote, à la juste dose et au bon moment, afin d'améliorer la qualité des grains, le rendement, mais aussi de diminuer le risque d'azote excédentaire.

Le fractionnement des apports d'azote permet d'accroître l'efficacité de la dose totale en minimisant les risques de perte d'azote par lessivage. Il est tout aussi important de fractionner les apports, afin de les positionner au plus près des besoins des plantes. En effet les besoins en azote varient au cours du cycle cultural. Comme en témoigne le graphique ci-dessous, les cinétiques d'absorption de l'azote se décomposent en 3 phases:



Source: Chambre Agriculture Vosges

Tout apport non valorisé constitue une perte économique pour l'exploitant et un risque pour la qualité de l'air et de l'eau. Le fractionnement des apports d'azote permet également d'éviter la suralimentation azotée de la culture (cause de l'augmentation de la sensibilité aux maladies du pied ou à la verse) et d'améliorer la teneur en protéines du grain.

Enfouir les engrais minéraux ou organiques dans le sol lors des semis de printemps permet d'accroître l'efficacité des apports en limitant les pertes, notamment par volatilisation. L'enfouissement dans le sol de l'urée à 10-15 cm de profondeur lui confère la même efficacité que l'ammonitrate.

3) Adapter la formulation de l'engrais azoté

- privilégier des engrais avec un faible taux d'azote uréique,
- substituer de l'azote minéral de synthèse par de l'azote organique.

L'intensité de la volatilisation de l'ammoniac dépend avant tout de la forme d'engrais azoté apporté. Ainsi, **plus l'engrais est riche en azote uréique (urée) ou ammoniacal, plus la volatilisation est forte**. À l'inverse, l'azote nitrique des engrais ne se volatilise pas.

Le document de référence EMEP/EEA avance un facteur d'émission de 15 % de l'azote apporté sous forme uréique, contre 8% pour les solutions azotées (composées de 50 % d'azote uréique, de 25 % d'azote ammoniacal et de 25 % d'azote nitrique) et seulement 2 % avec les ammonitrates (composés de 50 % d'azote ammoniacal et de 50 % d'azote nitrique). Ces valeurs augmentent avec la température. Les émissions liées à l'épandage d'autres engrais azotés minéraux sont généralement faibles, excepté pour le sulfate d'ammoniac et le phosphate diammoniaque pour lesquels l'intensité des émissions est très dépendante du pH, avec de fortes émissions sur les sols calcaires.

Améliorer l'utilisation de l'**azote organique** (effluents d'élevage) dans le calcul du bilan d'azote permet de réduire l'usage des engrais azotés de synthèse. D'après l'enquête « structure » de 2011 (source : AGRESTE), la dose moyenne d'azote minéral apportée est plus importante lorsque les cultures ne bénéficient pas d'apports organiques. Lorsqu'il y a un apport organique en complément d'apports minéraux, les surfaces fertilisées reçoivent en moyenne 46 kg/ha d'azote minéral en moins.

Cependant, pour les cultures fertilisées avec les deux formes d'azote, la quantité d'azote total (organique et minéral) est en moyenne plus importante que lorsque les apports sont uniquement constitués d'engrais minéraux. En effet, la minéralisation de l'azote organique étant progressive, seule une fraction de la dose apportée est directement assimilable par la culture. Les quantités d'apport organique se raisonnent donc sur plusieurs années, en tenant compte des apports passés et en prévision de la culture suivante. De plus, une partie de l'azote organique se volatilise dans l'air au moment de l'épandage. Ces pertes par volatilisation d'ammoniac peuvent être réduites grâce à des techniques d'épandage comme l'utilisation de pendillards ou le recours à l'injection ou l'enfouissement des effluents.

Facteurs influençant les émissions des polluants

Les facteurs influençant les émissions d'ammoniac sont :

- la forme et la dose d'engrais azoté ;
- les caractéristiques du sol ;
- les conditions météorologiques (température, vent, pluie, etc.) ;
- les pratiques culturales.

Faisabilité technique

FORTE.

Les méthodes et techniques sont déjà connues et expérimentées pour accompagner le changement des pratiques de fertilisation.

Néanmoins, la gestion des engrais organiques est plus technique que celle des engrais minéraux donc la substitution d'engrais organiques aux engrais minéraux de synthèse peut poser des difficultés en termes de technicité. En effet, la composition des engrais organiques sur une même exploitation est variable en fonction de nombreux facteurs tels que la composition du troupeau ou les conditions de stockage des effluents. Par ailleurs, la gestion des apports est plus complexe car l'azote organique est assimilé sur plusieurs années.

Potentiel de réduction des émissions

Économies d'azote minéral :

Le tableau suivant indique les potentiels de réduction de besoin en engrais minéraux azoté identifiés par l'ADEME^[1] :

Modalité	Économies d'azote minéral
Meilleur raisonnement et pilotage de la dose	- 20 kgN/ha
Retard 1 ^{er} apport	- 15 kgN/ha
Enfouissement engrais	-12 kgN/an
Substitution d'azote minéral par azote organique	- 15 kgN/ha

Estimation des réductions d'émissions :

		NH ₃	NO _x	N ₂ O
Quantité d'azote épandu (kgN/ha)		100	100	100
Facteur d'émission² (azote minéral)		de 0,02 à 0,15 ³	0,005 ou 0,006 ³	0,01
Facteur de conversion		17/14	30/14 * 46/30	1,57
Émissions (kg/ha)⁴		7,701	1,890	1,571
Réduction d'émissions (kg/ha)	Pilotage dose	1,540	0,378	0,314
	Retard 1^{er} apport	1,155	0,284	0,236
	Enfouissement engrais	0,924	0,227	0,188
	Substitution azote minéral par organique	1,155	0,284	0,236
	Changement formulation (50 % [urée + solution] en ammonitrate)	2,629	0,112	0,000

Si toutes les exploitations en Eure et Seine-Maritime (périmètre du Plan de Protection de l'Atmosphère) optimisaient leur utilisation d'engrais azotés minéraux, le potentiel de réduction des émissions pourrait être⁵ :

Modalité	NH ₃	NO _x	N ₂ O
Meilleur raisonnement et pilotage de la dose	1206	296	246
Retard 1 ^{er} apport	456	112	93
Enfouissement engrais	192	47	39
Substitution d'azote minéral par azote organique	905	222	185
Remplacement 50 % [urée + solution azotée] utilisés par ammonitrate	3 113	133	0

Tonnes de NH₃, NO_x et N₂O non émises pour un an – Année de référence : 2013

2 Les facteurs d'émission sont issus du guide EMEP et de documents fournis par le CORPEN

3 Selon le type de formulation : ammonitrate, solution, urée, [NP, NK, NPK], autre

4 En supposant que la répartition des différentes formulations d'engrais soit la même que celle constatée en 2013

5 Hypothèses utilisées : superficies issues des données PAC 2013 ; la suppression du 1^{er} apport ne concerne que les superficies de cultures d'hiver et l'enfouissement des engrais ne concerne que les semis de printemps ; les autres mesures sont appliquées sur l'ensemble des surfaces (cultures permanentes, terres labourables, cultures fruitières, prairies artificielles, surfaces toujours en herbe)

Cela correspondrait à une réduction de 0,7 % (enfouissement engrais), 1,7 % (retard 1^{er} apport), 3,4 % (substitution azote minéral par organique), 4,6 % (meilleur raisonnement) ou 11,8 % (changement forme engrais) des émissions 2014 de NH₃ sur le territoire du PPA. Plusieurs sous-actions peuvent être combinées, ce qui permet d'augmenter le potentiel total de réduction.

Impact de l'action sur les autres enjeux environnementaux

Consommation d'énergie : baisse indirecte des consommations d'énergies fossiles (en amont de l'exploitation). En effet, la fabrication des engrais d'azotés de synthèse est consommatrice d'énergie. Des économies sur la consommation de carburant des engins agricoles sont possibles : si la quantité de fertilisant diminue, le nombre de passages des engins agricoles sur la parcelle peut diminuer en conséquence.

Émissions de gaz à effet de serre (GES) : réduction des émissions directes et indirectes de N₂O liée à la réduction des doses totales de fertilisants azotés et à la diminution de pertes par lixiviation ou volatilisation. Faible réduction des émissions directes de CO₂ dues à la consommation de gazole des engins agricoles. Réduction d'émissions indirectes de CO₂ (en amont de l'exploitation), liées à la fabrication et au transport des fertilisants azotés.

Qualité des eaux et compatibilité avec la directive nitrates : par une meilleure valorisation de l'apport en azote, réduction des fuites de nitrate par lixiviation en diminuant le reliquat d'azote post-récolte et lutte contre l'eutrophisation des milieux. La réflexion de raisonnement des amendements doit être globale (NPK) pour la cohérence du système.

Qualité des sols : limitation de l'acidification. Si des fertilisants organiques se substitue en partie aux fertilisants minéraux, cela favorise la diversité et l'abondance de micro-organismes et de la faune du sol.

Pression parasitaire : l'optimisation de la fertilisation diminue la disponibilité en azote pour les bioagresseurs ainsi que la sensibilité des cultures à leurs attaques. Elle entre en synergie avec les objectifs d'économies de produits phytosanitaires.

Interactions éventuelles de l'action avec les autres mesures proposées

Technique d'épandage : une bonne gestion de l'épandage des effluents d'élevage permet d'améliorer la valorisation de l'azote organique par les cultures et donc de diminuer les apports des engrais minéraux.

Impact de l'action sur le système de production agricole

L'utilisation d'outils de pilotage a peu d'impact de fond sur l'organisation du travail dans l'exploitation. Toutes ces techniques n'affectent pas les rendements, et n'impliquent pas de bouleversement des systèmes de production. En revanche, la substitution d'azote organique au minéral ou l'enfouissement des engrais peuvent être plus contraignants.

Aspects économiques

D'après l'étude menée par l'ADEME en 2013^[2], les coûts associés à ces mesures peuvent se décomposer de la manière suivante :

- Pour la modalité « mieux raisonner et piloter le niveau des doses appliquées », il faut considérer l'investissement éventuel d'équipements et/ou d'intrants spécifiques, comme l'acquisition d'un outil de pilotage de la fertilisation (9,3 €/ha), et la possible économie d'engrais acheté de -18 €/ha/an, qui porte à un coût unitaire final de **-8,7 €/ha/an** ;
- La modalité « suppression du 1^{er} apport d'azote » pourrait induire des économies de

-22,7€/ha/an (valeur qui considère une baisse d'achat d'engrais de -13,7 €/ha et une économie de -9 €/ha en réduisant d'une unité le nombre d'épandage nécessaire) ;

- L'enfouissement localisé de l'engrais minéral nécessite une modification du matériel d'épandage (ou le recours à une entreprise). Cette modalité pourrait apporter des économies de **-9,1 €/ha/an** (valeur qui considère un surcoût de 2€/ha/an pour l'achat d'un équipement fertiliseur pour semoir, et une économie d'engrais acheté de 11,2 €/ha/an) ;
- La modalité « mieux valoriser les apports organiques » pourrait apporter des économies de **-11,6 €/ha/an**. Cette valeur considère l'augmentation des coûts dû à l'enfouissement des effluents organiques épandus (+1,5 €/ha) et l'économie d'engrais minéraux (-13,1 €/ha/an) ;
- La modalité de changement de formulation azotée (remplacement d'urée ou de solution azotée par de l'ammonitrate) entraîne un surcoût à l'achat de **+20 €/t** (pour l'urée) à **+110 €/t** (pour la solution azotée) (en considérant un coût de l'ammonitrate de 270 €/t, de l'urée de 250 €/t et de la solution azotée de 160 €/t).

Coût / Efficacité

La quasi-totalité de ces mesures donnent lieu à un **gain financier pour l'agriculteur** (à moduler selon la fluctuation des prix du marché). Elles permettent de faire des ajustements techniques avec des économies d'intrants sans pertes de production.

Seule la mesure concernant la modification de la forme d'engrais minéral utilisé représente un coût pour l'agriculteur, en raison du prix plus élevé de l'ammonitrate par rapport aux autres formes d'engrais ; c'est néanmoins la mesure qui permet les réductions d'émissions d'ammoniac les plus importantes.

Le coût/efficacité par kg de polluant non émis est le suivant :

Modalité	Coût/efficacité €/kg NH ₃	Coût/efficacité €/kg NO _x	Coût/efficacité €/kg N ₂ O
Mieux raisonner et piloter	-5,6	-23	-27,7
Suppression 1 ^{er} apport	-19,6	-80,1	-96,3
Enfouissement engrais minéraux	-9,8	-40,1	-48,3
Valorisation engrais organique	-10	-40,9	-49,2
Changement formulation	4,5	106,4	--

Coût/efficacité en €/kg polluant non émis

Préconisation / Recommandation

- Les épandages sont à proscrire les jours de vent et de forte chaleur. Tenir en compte de la météo est une bonne pratique d'épandage. Un calendrier d'épandage adapté permet également de limiter le lessivage de l'azote sous forme soluble.
- Les épandages d'engrais azotés sont à privilégier lors de périodes de forte croissance des cultures pour favoriser une assimilation rapide.
- Les apports azotés doivent tenir compte de la nature particulière des terrains (altitude, pente...) et de la rotation des cultures.

Les derniers scénarios climatiques français prévoient une hausse des températures sur l'ensemble du territoire national et une augmentation des épisodes d'aléas climatiques (sécheresse, inondation, froid, chaleur...). Ces tendances interagissent avec la gestion de la fertilisation azotée à double titre. D'une part, la hausse des températures est propice à la minéralisation de l'azote du sol en automne, sous réserve de disponibilité en eau à cette période. D'autre part, un déficit hydrique en cours de montaison peut avoir des impacts variés sur l'efficacité des apports d'engrais : accroissement de l'efficacité si la période de sécheresse conduit à retarder l'apport jusqu'au retour des pluies, réduction de l'efficacité si l'apport est réalisé en période de sécheresse. Dans ce contexte, le recours à des outils de pilotage de la fertilisation intégrant les prévisions météorologiques s'affiche comme une stratégie intéressante pour adapter les pratiques agricoles.

Analyse AFOM (Atout/Force/Opportunité/Menace)

Le potentiel de réduction de la fertilisation minérale sans affecter les rendements est important et s'accompagne généralement d'une baisse des coûts pour l'agriculteur. Cet effet devrait s'amplifier avec la hausse des prix des intrants minéraux résultant de l'augmentation attendue du coût de l'énergie. Il existe donc une marge de progrès considérable sans affecter les rendements.

La gestion de la fertilisation azotée des grandes cultures est une technique complexe, car il faut tenir compte de la diversité des conditions pédoclimatiques et les incertitudes liées au climat, au fonctionnement biologique des sols et à la disponibilité des formes d'azote. Ces incertitudes conduisent souvent à chercher à minimiser les risques de pertes de rendement en augmentant les doses d'azote.

La limitation des émissions de polluants atmosphériques et de GES a également un effet favorable sur la qualité des eaux.

Atouts	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cette démarche permet de réduire les dépenses en achat de fertilisants minéraux. ▶ Ces techniques permettent de réaliser des économies sur la consommation d'énergie indirecte liée à la fabrication des engrais. ▶ Ces techniques sont compatibles avec les préconisations de la directive nitrates, en permettant de limiter les risques de lessivage de nitrates en réduisant la quantité de fertilisant apporté. ▶ Ajuster la dose d'azote aux besoins des cultures maintient le rendement, tout en optimisant la qualité de la production. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Le report de l'apport d'azote au printemps ne concerne que les cultures d'hiver. ▶ L'enfouissement localisé de l'engrais minéral n'est envisageable que sur les cultures de printemps.
Opportunités	Menace
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Le fractionnement des apports d'azote permet d'éviter la suralimentation azotée de la culture (cause de l'augmentation de la sensibilité aux maladies du pied ou à la verse) et d'améliorer la teneur en protéines du grain. ▶ La hausse probable du prix des intrants minéraux, résultant d'une hausse attendue du coût de l'énergie, devrait favoriser le développement de ces techniques. ▶ Le recours à des outils de pilotage de la fertilisation intégrant les prévisions météorologiques s'affiche comme une stratégie intéressante pour adapter les pratiques agricoles aux incertitudes liées au climat et à son évolution. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Les incertitudes liées au climat, au fonctionnement biologique des sols et des peuplements et à la disponibilité des formes d'azote conduisent souvent à augmenter les doses d'azote pour chercher à minimiser les risques des pertes de rendement.
Références bibliographiques	

[1] ADEME – Agriculture & Environnement. Des pratiques clefs pour la préservation du climat, des sols et de l'air, et les économies d'énergie.

[2] ADEME – Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de 10 actions techniques.

[3] ADEME – Les émissions agricoles de particules dans l'air : état des lieux et leviers d'action.

[4] UNECE Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions.

[5] ADEME – Analyse d'une stratégie d'actions visant la réduction de la dépendance énergétique des exploitations agricoles par la maîtrise de la fertilisation azotée.

[6] AGRESTE – Dossier Fertilisation. Enquête sur les pratiques culturales 2011.

[7] MAAF – Recensement et analyse des outils de raisonnement dynamique et de pilotage de la fertilisation azotée, 2016

[8] APCA – Livret pédagogique « C'est bon pour le climat ».