



# **Livre Blanc sur la fertilisation azotée**

**Pour bien nourrir les plantes  
et sécuriser notre alimentation**



**Ce** livre blanc est l'aboutissement d'un travail collaboratif mené par les structures ayant en commun la maîtrise de la fertilisation azotée. Ce projet a donné lieu à de multiples réunions et échanges, afin de partager les connaissances et l'expertise de chacun, ainsi que les références disponibles. L'objectif ? Proposer un éclairage à jour de la question, en s'appuyant sur des explications, constats et alertes, afin d'ouvrir demain l'ère d'une politique plus adaptée en matière de gestion de la fertilisation azotée.



# Pourquoi réaliser un Livre Blanc sur la fertilisation azotée ?

Les informations et les annonces se succèdent sur la fertilisation et les engrais. Pour certains, les engrais « industriels », « chimiques », « de synthèse » devraient voir leur utilisation fortement réduite, voire supprimée, en raison des impacts négatifs sur l'environnement. Pour d'autres, l'utilisation des engrais est indispensable pour apporter les éléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes afin d'assurer une production agricole suffisante pour répondre aux besoins alimentaires de tous.

Face à ces appréciations divergentes, chacun est en droit de s'interroger sur les avantages et les inconvénients des fertilisants qui sont aujourd'hui un sujet essentiel.

En effet, le sujet de la fertilisation et, avec lui, celui des engrais azotés qu'ils soient d'origine organique, provenant des effluents d'élevage par exemple, ou minérale, fabriqués en utilisant un procédé industriel, reste central pour notre société.

Les engrais azotés en apportant aux plantes les éléments nutritifs indispensables à leur croissance, contribuent à nourrir les Hommes. De fait, les plantes, ces ressources agricoles, constituent la base même de notre sécurité alimentaire. Cette sécurité alimentaire est fortement questionnée aujourd'hui compte tenu de l'évolution démographique qui accroît régulièrement les besoins et des menaces que constituent les tensions géopolitiques actuelles sur la

disponibilité en nourriture, sans compter le changement climatique.

Dans le même temps, il est indéniable que, dans certaines conditions d'utilisation, le recours aux engrais organiques ou minéraux azotés peut avoir des impacts négatifs sur la qualité de l'air, mais également de l'eau, et sur le climat.

Face à ces enjeux majeurs pour nos sociétés, il est essentiel de pouvoir aborder chaque aspect d'un sujet qui se caractérise par sa complexité.

C'est pourquoi, il est apparu nécessaire aux auteurs de ce Livre Blanc, en raison de leur expertise et de leur expérience dans le domaine de la fertilisation azotée mais aussi des enjeux portant sur les marchés des grains, d'apporter leur éclairage sur ce sujet, ses enjeux et ses perspectives d'évolution.

C'est ainsi l'intérêt de ce Livre blanc d'expliquer ce

que recouvre le processus complexe de nutrition des plantes via la fertilisation azotée. En effet, l'azote est un élément majeur pour la croissance des plantes et donc pour la production de ressources agricoles. C'est l'azote qui explique en très grande partie les pratiques de fertilisation en France. Ce Livre Blanc s'attache donc en priorité à cet élément nutritif : son cycle dans le milieu naturel, sa fabrication, les différentes formes d'apport, son rôle dans la production de ressources agricoles, son impact sur les milieux naturels et les bonnes pratiques liées à son utilisation.

Ce Livre Blanc a choisi d'appréhender simultanément tous les enjeux de la fertilisation azotée en abordant des sujets très variés mais interconnectés, comme la chimie, la biologie, l'agronomie, les besoins physiologiques des plantes, les marchés, les processus industriels, l'économie agricole, le fonctionnement des écosystèmes, du climat, l'écologie scientifique, etc.

Ce faisant, ce Livre Blanc considère toute la complexité de la fertilisation azotée, dans ses bénéfices comme dans ses limites, en utilisant un langage et des explications aussi simples que possibles afin que le sujet soit compris par tous.

Alors qu'est-ce que la fertilisation ? A quoi sert-elle ? Que sont les engrais azotés qu'ils soient minéraux ou organiques ? Quelle est leur utilité pour la production de ressources agricoles ? Quels sont les impacts de ces engrais sur la production de ressources agricoles ? sur l'environnement ? et quelles sont les solutions en termes de process industriel, d'innovation produit et de pratiques agricoles ?

Autant de questions et de réponses qui structurent ce Livre Blanc, qui interrogent l'avenir même des productions agricoles en France et notre capacité à assumer la production de ressources agricoles dont la finalité essentielle demeure l'alimentation des populations.

# Table des matières

- 01.** Qu'est-ce que la fertilisation azotée? Est-elle vraiment nécessaire ? page 6
- 02.** Quel est le marché des engrais azotés en France, en Europe et à l'international ? page 16
- 03.** Production de ressources agricoles d'un côté, protection de l'environnement et du climat de l'autre : quels enjeux ? page 18
- 04.** Quelles innovations pour améliorer la production des engrais et l'efficacité de la fertilisation ? page 22
- 05.** Quelles bonnes pratiques agricoles pour économiser les engrais et réduire leurs impacts ? page 26



01.

# Qu'est-ce que la fertilisation azotée? Est-elle vraiment nécessaire ?

La fertilisation est une question de physiologie des plantes, et de nécessité biologique pour permettre aux plantes de se nourrir pour croître et se développer, assurant ainsi les besoins essentiels des êtres humains dans la durée.

## Les besoins physiologiques des plantes pour pousser et se développer

Pour assurer leur croissance et leur développement, les plantes ont des besoins physiologiques qui peuvent être résumés en 5 grandes catégories.

Elles ont besoin d'eau, de lumière, d'air, de chaleur et de nutriments. Ces besoins varient selon l'espèce et le stade de développement. Les plantes prélèvent les éléments dont elles ont besoin dans leur milieu environnant (Figure 1).

Les nutriments fournis par le sol sont rarement suffisants pour répondre pleinement aux besoins des plantes cultivées. L'agriculteur doit donc apporter des fertilisants sous forme minérale et/ou organique pour ajuster l'offre de nutriments aux besoins des cultures<sup>1</sup>. Le besoin d'une culture correspond à la quantité de l'élément nutritif nécessaire et suffisante pour atteindre les objectifs de production

(rendement) et de qualité (teneur en sucre, en huile ou en protéines, etc.)<sup>2</sup> afin de satisfaire les filières de transformation et en bout de chaîne, le consommateur.

**Les plantes ont besoin de 16 éléments nutritifs essentiels à leur croissance.** Parmi eux on retrouve le carbone (C) qui provient du dioxyde de carbone atmosphérique, l'oxygène (O) et l'hydrogène (H) qui sont extraits de l'eau et de l'air. Les éléments restants sont puisés dans les sols. On distingue :

- 1. Les éléments primaires** requis en quantité importante par les plantes (en centaines de kg par hectare) : Azote (N), Phosphore (P) et Potasse (K).
- 2. Les éléments secondaires** requis en moins grande quantité (en dizaines de kg par hectare): Calcium (Ca), Magnésium (Mg) et Soufre (S).
- 3. Les éléments mineurs ou oligo-éléments** requis en petite quantité mais essentiels à la plante (en kg par hectare) : Fer (Fe), Bore (B), Manganèse (Mn), Molybdène (Mo), Chlore (Cl), Cuivre (Cu) et Zinc (Zn).

1-2 COMIFER, 2013. « Calcul de la fertilisation azotée - Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales »

# Besoins physiologiques des plantes

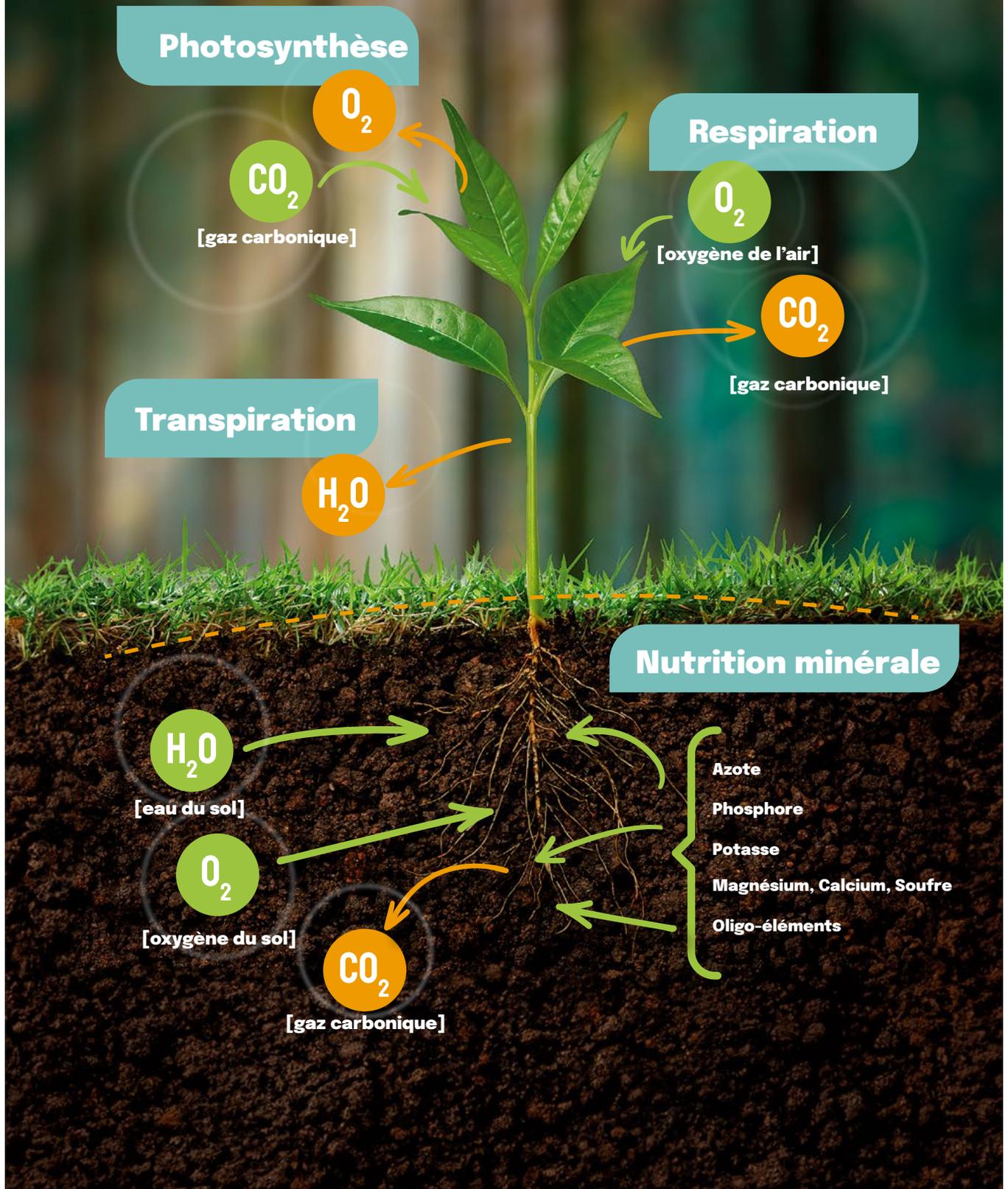


Figure 1 : Besoins physiologiques des plantes

# Cycle simplifié de l'azote dans un sol cultivé

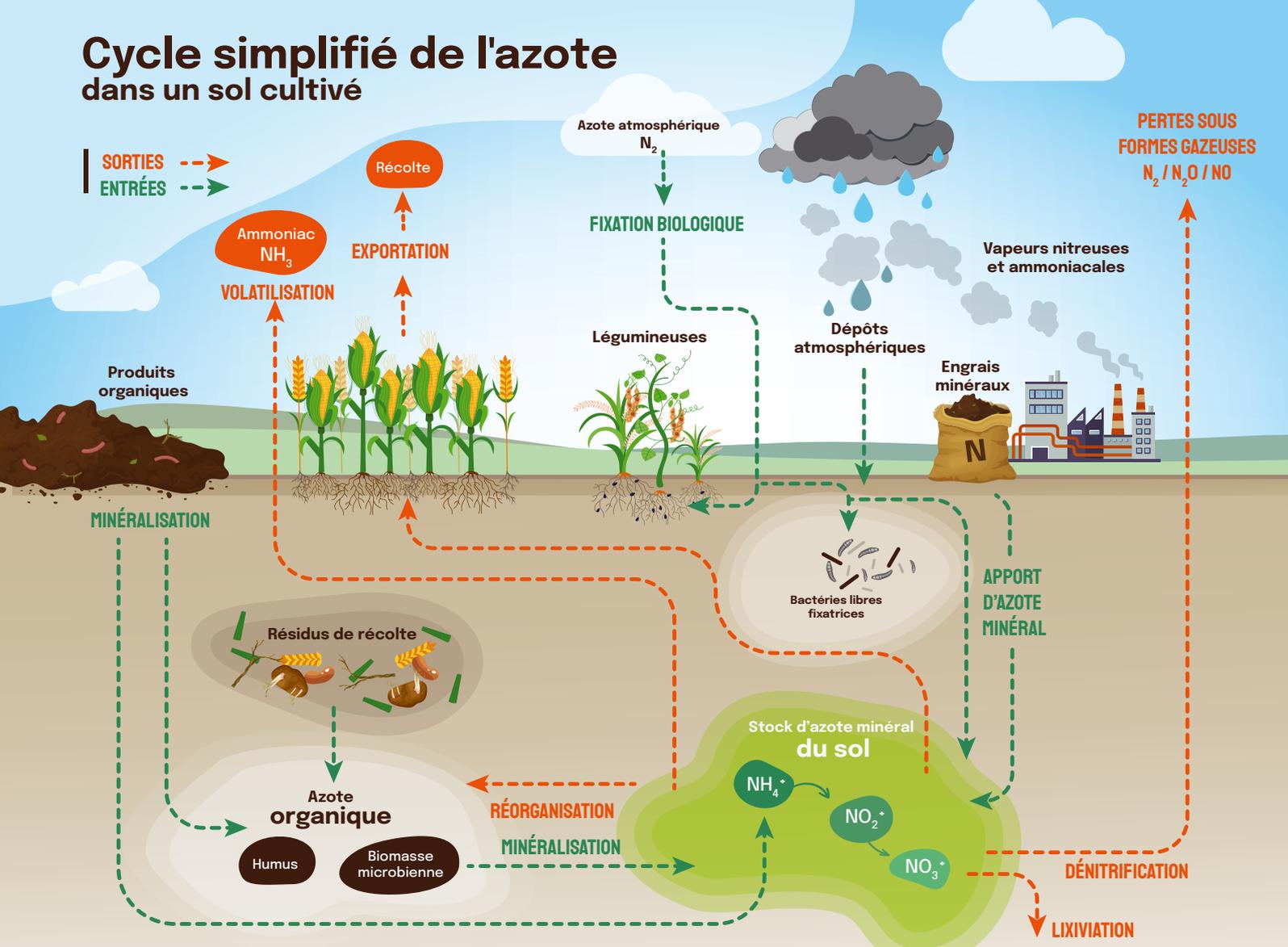


Figure 2 : Cycle simplifié de l'azote, inspiré du schéma de Mariotti, 1996 (MAAF, 2016)

## L'azote : un élément indispensable à la croissance des plantes

Parmi les éléments nutritifs primaires, l'azote est particulièrement nécessaire à la croissance des plantes. C'est le principal constituant des acides aminés, des protéines et des acides nucléiques, constituants essentiels des cellules.

L'azote est présent dans l'atmosphère en très grande quantité (78% de l'air) sous forme de diazote ( $N_2$ ). Sous cette forme gazeuse, il n'est cependant pas assimilable par la plupart des plantes. Celles-ci n'utilisent que des formes ioniques présentes en so-

lution dans le sol. À l'aide de leurs racines, les plantes prélèvent préférentiellement des ions nitrate ( $NO_3^-$ ). Les autres formes d'azote sont converties naturellement en ions assimilables par :

1. Les mécanismes de décomposition et minéralisation des matières organiques azotées (fumiers, paille, compost, couverts végétaux).
2. Les phénomènes de fixation biologique par les organismes du sol et la symbiose entre des bactéries fixatrices d'azote (rhizobiums) et les légumineuses (famille de plantes qui ont la capacité à créer une symbiose avec ces bactéries : pois, luzerne, trèfle, soja, etc.).
3. Les dépôts au sol d'oxydes d'azote générés par les précipitations.

L'azote de l'air peut également être converti en formes assimilables par les plantes lors du processus de fabrication des engrais.

**Les plantes transforment l'azote absorbé en protéines indispensables à leur croissance. Le rôle de l'azote est ainsi déterminant pour la quantité et la qualité des productions végétales.**

À titre d'exemple, une culture sans apport d'engrais azoté peut conduire à des pertes de rendement pouvant aller jusqu'à 90 %. Ces écarts importants de production démontrent que la disponibilité de cet élément nutritif est très variable dans les sols mais également que son absence est en général très impactante pour la productivité des cultures. Pour ces deux raisons, le raisonnement de la fertilisation azotée est primordial afin d'estimer correctement les besoins et déterminer la dose d'engrais nécessaire et suffisante pour assurer la production visée. C'est la méthode du bilan prévisionnel. Le raisonnement de la fertilisation se focalise principalement sur la couverture des besoins azotés, premier facteur limitant la production pour les grandes cultures.



## Ce qu'il faut retenir

Pour leur croissance, les plantes ont besoin d'éléments présents naturellement dans l'environnement : eau, lumière, chaleur, nutriments, air. Parmi ceux-ci, l'azote est un élément essentiel qui conditionne la croissance et le rendement des cultures qui cependant est présent en quantité limitée dans les sols. L'ajustement entre les besoins des plantes et la fourniture par le sol se fait par la méthode du calcul du bilan prévisionnel qui permet d'estimer précisément les besoins des cultures en azote.



## Les engrais : un moyen d'apporter les éléments nutritifs indispensables à la croissance des plantes

Pour satisfaire les besoins des cultures, l'agriculteur apporte les éléments nutritifs indispensables à leur développement. C'est ainsi que la production agricole a pu se développer afin de garantir la production de denrées alimentaires à la fois en quantité et en qualité.

Les matières fertilisantes azotées permettent de compléter les fournitures du sol. Elles sont apportées sous différentes formes, facilement assimilables par les plantes, et peuvent être d'origine organique ou minérale (*Figure 3*). Ces différentes formes présentent des teneurs variables en azote.

L'urée s'hydrolyse rapidement au contact du sol en ammonium.

L'ammonium se transforme par la suite en nitrate sous l'action des bactéries nitrifiantes naturellement présentes dans les sols. Ce processus est d'autant plus rapide que le sol est aéré, humide et chaud. Ces deux formes d'azote, l'ammonium et surtout les nitrates, sont directement assimilables par les plantes.

Dans les engrais organiques, appelés aussi MAFOR (Matières Fertilisantes d'Origine Résiduaire), une partie de l'azote est rapidement assimilable par les plantes, l'autre fraction doit passer par des processus biologiques complexes (minéralisation et organisation) afin de libérer de l'ammonium puis des nitrates utilisables par les plantes (Figure 4). L'azote ammoniacal présent dans les engrais organiques a un comportement similaire à l'azote contenu dans les engrais minéraux.

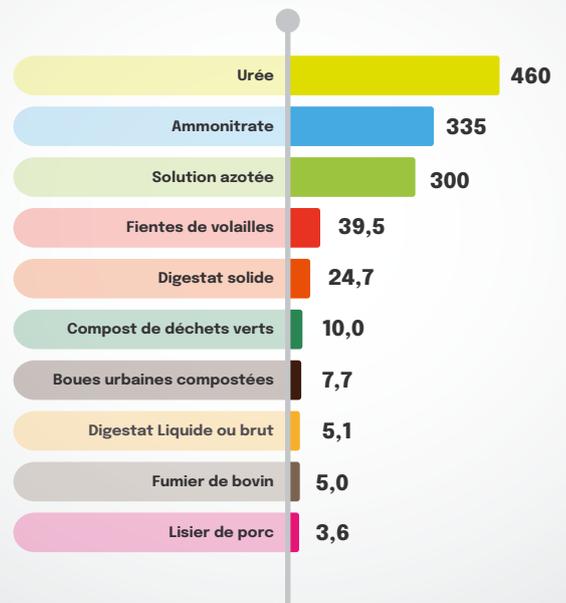
Ces processus de transformation dans le sol interviennent généralement à deux périodes, à la fin de l'été et au printemps, lorsque les températures sont chaudes et que les sols sont humides. Ces périodes ne correspondent pas nécessairement au moment où les plantes ont des besoins.

Par exemple, le blé a des besoins faibles jusqu'à la sortie de l'hiver, puis ses besoins augmentent en avril-mai pour décliner ensuite en juin-juillet.



## Pour aller plus loin

Valeurs repères des teneurs en azote total (kg par tonne de produit brut) des principaux fertilisants



Source : ARVALIS, IFIP, IDELE, ITAVI, 2019

## Les différentes formes d'azote et leur assimilation par les plantes

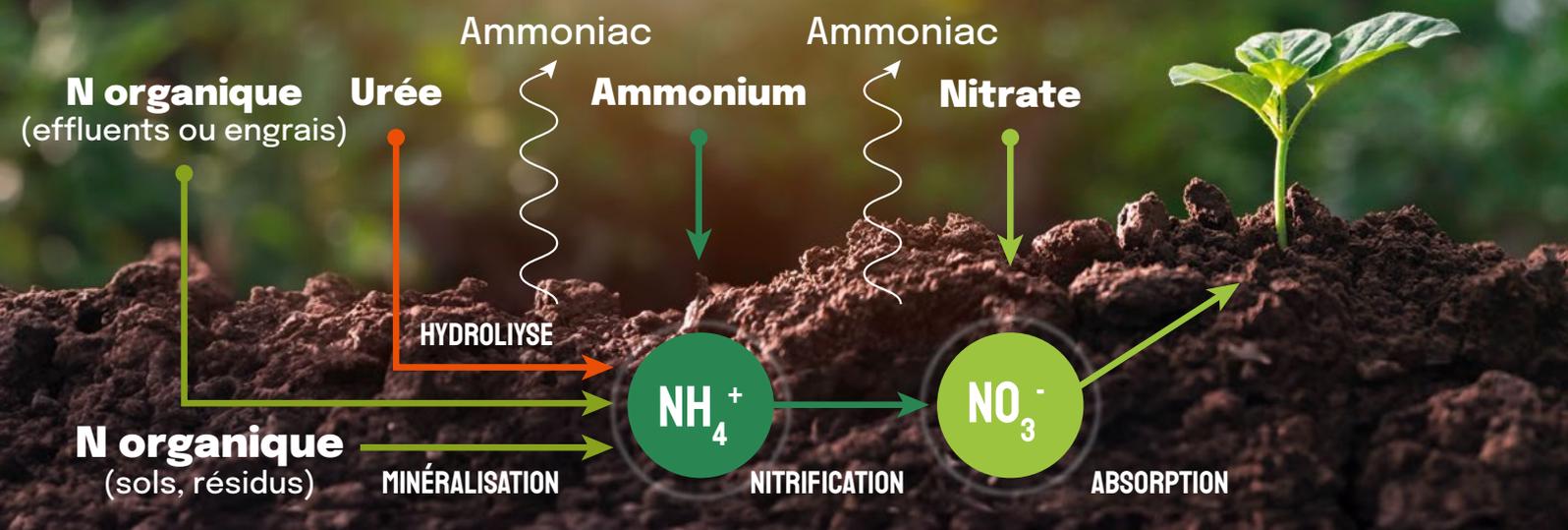


Figure 3 : Les différentes formes d'azote et leur assimilation par les plantes



Figure 4 : Processus de minéralisation et d'organisation de la matière organique dans le sol (Arvalis)

Afin de garantir une croissance optimale, la quantité d'engrais azotés à apporter est déterminée par la méthode du bilan, et pour assurer une teneur en protéines suffisante dans le grain, le dernier apport est piloté, c'est-à-dire qu'on cherche à apporter la dose exacte au moment où le besoin est le plus important.

Par le mode d'action les engrais minéraux permettent de piloter les apports d'azote au plus près des besoins des cultures et plus facilement qu'avec les engrais organiques.



## Pour aller plus loin

Les engrais organiques désignent toutes les matières d'origine résiduaire susceptibles d'amender ou de fertiliser les sols. Exemple : effluents d'élevage, boues de station d'épuration, compost de déchets organiques, digestat de méthaniseurs, déchets organiques d'industrie agro-alimentaire (pulpe de betterave, écumes...), cendres, etc.

## Comment pallier le déficit d'azote inhérent au système agricole existant ? En apportant de l'azote !

L'azote absorbé par les plantes est en très grande partie exporté à la récolte par les grains que l'on moissonne, le maïs qui est ensilé, l'herbe qui est fauchée, les fruits et légumes qui sont récoltés. Par voie de conséquence, les systèmes agricoles existants sont en général déficitaires en azote.

Pour décrire la circulation de l'azote dans le système agricole, la France peut schématiquement être représentée par une exploitation agricole, la ferme France (Figure 6). Cette description des flux permet d'identifier le bilan d'entrée et de sortie d'azote dans le système agricole global.

La principale sortie d'azote du système agricole provient de l'exportation par les récoltes destinées à la consommation humaine, animale et industrielle. Ce flux représente 1.5 million de tonnes d'azote exportées.

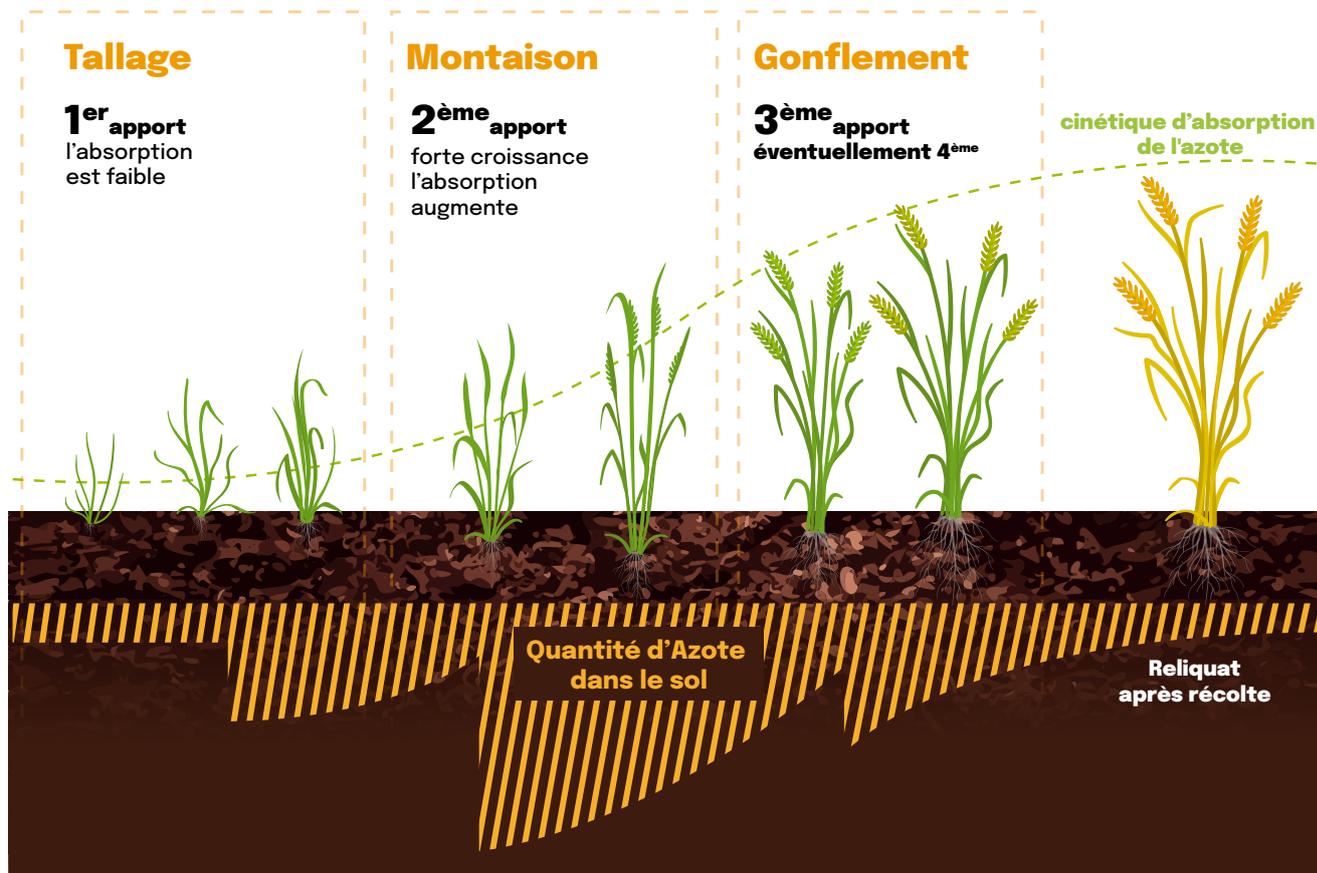


Figure 5 : Les besoins et le positionnement des apports en fertilisation azotée sur blé (Arvalis, 2023)

Les engrais azotés minéraux permettent de compenser ce flux d'exportation en apportant l'azote nécessaire à la croissance des plantes.

Dans le schéma présenté, l'azote organique provenant des effluents d'élevage et de la production de fourrage reste à l'intérieur de la ferme France. Cependant cette source d'azote est mal répartie entre les territoires qui se sont spécialisés dans leur production. Ainsi l'azote organique contenu dans les effluents peut apparaître en excès dans les zones d'élevage et ne compensent pas les besoins en azote des zones de grandes cultures. Les transferts à opérer sont complexes et par ailleurs la ressource en azote organique tend à diminuer avec la baisse du cheptel animal (-31% d'exploitation spécialisée en élevage entre 2010 et 2020 selon le recensement agricole) et entraîne une baisse de la disponibilité en effluents (engrais organiques contenant de l'azote).



## Ce qu'il faut retenir

L'azote est présent dans l'environnement sous différentes formes. Dans le sol, sous l'effet de l'activité microbienne naturelle, ces éléments sont minéralisés, hydrolysés, nitrifiés avant de pouvoir être assimilés par les plantes. Les engrais azotés, qu'ils soient d'origine organique ou minérale, viennent compléter les apports du sol, en se transformant en ions nitrates qui est la principale forme d'azote assimilable par les plantes.



## Ce qu'il faut retenir

**La nécessité de recourir aux engrais minéraux pour équilibrer le système agricole et alimentaire.** Du fait de l'exportation de l'azote contenu dans les produits récoltés, les systèmes agricoles sont généralement déficitaires en azote.

L'apport de matières organiques fertilisantes - effluents d'élevage en particulier - peut permettre de combler une partie de ce déficit. Mais, pour la Ferme France, ces apports organiques ne permettent pas de couvrir tous les besoins. Les prévisions montrent que la quantité d'azote contenu dans les MAFOR n'est pas suffisante pour couvrir les seuls besoins en azote de la filière biologique à horizon 2025. Ils ne pourront donc, a fortiori, pas répondre aux besoins de l'ensemble du parcellaire français.

Une étude commanditée par le ministère de l'Agriculture montre que la diminution des besoins en azote des plantes par la mise en place de leviers agronomiques (rotation avec des légumineuses en particulier) et la collecte accrue des effluents industriels et urbains ne permettraient pas de compenser la seule diminution des effluents d'élevage causée par la diminution du cheptel français.

À titre de comparaison, le gisement de Matières Fertilisantes d'Origine Résiduaire (MAFOR) serait à peine suffisant pour fertiliser les surfaces en Agriculture Biologique (AB) (25% de la SAU en AB d'ici 2035).

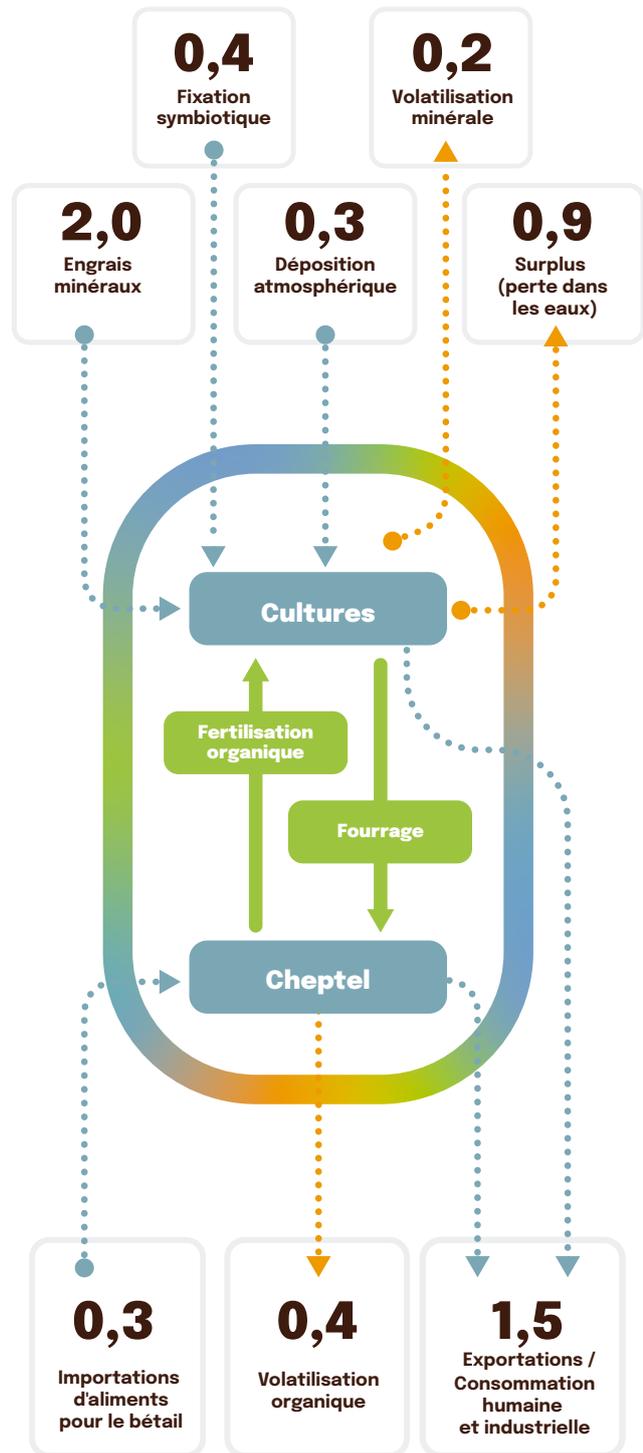


Figure 6 : Principaux flux d'azote de la ferme France en 2010 en millions de tonnes d'azote (source : CGDD, 2015)

## Comment utilise-t-on les engrais azotés sur la ferme France?

La France est le premier pays agricole de l'Union européenne. Elle représente 18% de la production européenne en valeur (hors services agricoles et activités secondaires).

Étant le premier pays producteur de céréales, oléagineux, betteraves et pommes de terre, cultures ayant des besoins en azote élevés, la France est également le premier pays consommateur d'engrais minéraux azotés (1,75 millions de tonnes d'azote en 2021-2022).

La France est aussi le premier pays agricole de l'Union européenne en surface agricole utilisée (SAU) et représente 16 % de la SAU de l'Union européenne. En termes de consommation d'engrais par hectare de SAU, la France se classe cependant au 6<sup>ème</sup> rang des pays de l'Union Européenne (Figure 7). Les quantités d'azote apportées apparaissent mieux valorisées que dans d'autres pays européens grâce aux actions mises en œuvre par les agriculteurs.

C'est notamment la précision des méthodes de calcul des besoins des cultures qui permet aux agriculteurs d'ajuster les apports d'azote au plus près des besoins des plantes. Une étude du COMIFER a comparé les méthodes de calculs de 10 pays européens dont la France. Cette étude a démontré que la France met en œuvre la méthode de raisonnement de la fertilisation azotée (méthode du bilan prévisionnel) la plus complète d'Europe<sup>3</sup>, intégrant 10 facteurs de variation contre 5 en moyenne pour les autres pays.

Les progrès récents de la génétique variétale et les perfectionnements apportés aux méthodes de fertilisation expliquent qu'au cours des 30 dernières années, l'efficacité de l'utilisation des engrais azotés minéraux a augmenté en France de 35 %, ce qui a conduit à une baisse de la consommation d'engrais azotés tout en augmentant la production des grandes cultures (figure 8). La forte variabilité interannuelle s'explique par des conditions climatiques différentes qui peuvent avoir un impact sur la valorisation des apports azotés.

### Quelques chiffres

En 2021, 1,9 millions de tonnes d'azote commercialisées sont d'origine minérale et 0,08 million de tonnes d'origine organique (ces quantités n'incluent pas les effluents d'élevages non commercialisés et les produits organiques sous statut de déchets : boues de stations d'épuration, digestat de méthaniseurs...etc.)



3 Jordan-Meille Lionel, Khady Diedhiou, Marie Carré, Pascal Denroy, et Francesca Degan. « La méthode du "Bilan prévisionnel" déclinée en Europe - Arvalis, INRAE, COMIFER », 2022. <https://www.perspectives-agricoles.com/raisonnement-de-la-fertilisation-azotee-comment-la-france-se-positionne-t-elle-par-rapport-a-ses-voisins--@/view-3911-arvarticlepa.html>.

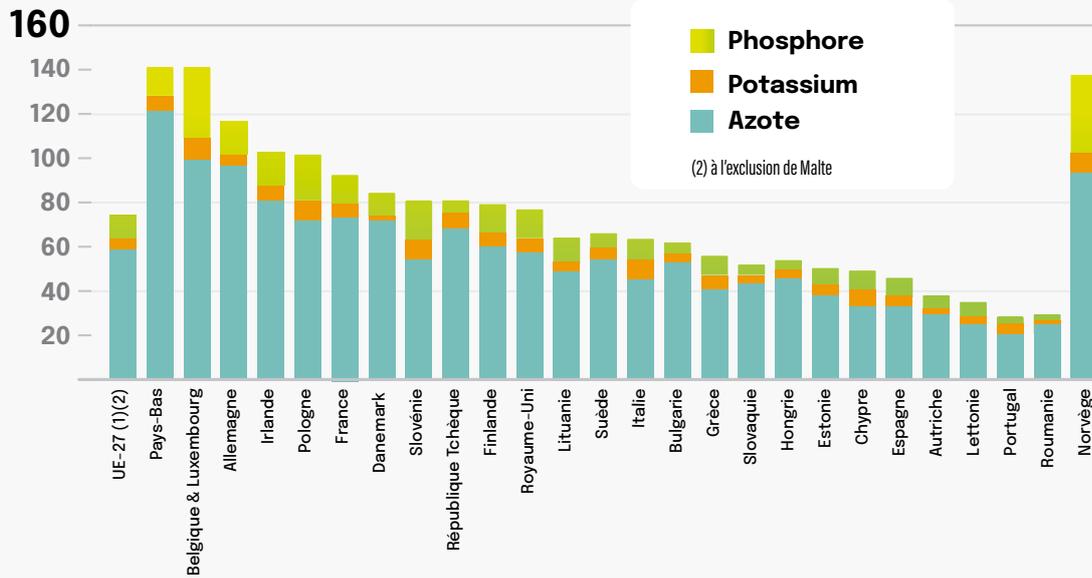


Figure 7 : Consommation d'engrais minéraux en 2009 en Kg de nutriment par hectare (Eurostat, 2011)

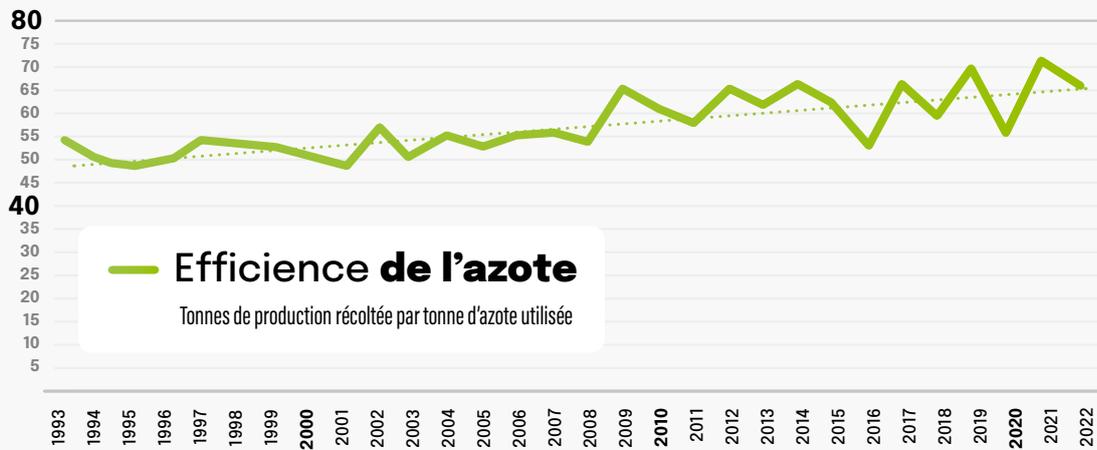


Figure 8 : Evolution de l'efficacite de la fertilisation azotée minérale en France métropolitaine en tonne de production récoltée par tonne d'azote utilisée (AGPB, données Agreste et UNIFA)

**02.**

## **Quel est le marché des engrais en France, en Europe et à l'international ?**



Contrairement à d'autres minéraux (phosphore et potasse par exemple), les gisements de roche azotée sont rares sur la planète. Les engrais azotés minéraux sont donc produits à partir de l'azote de l'air et de l'énergie contenue dans le gaz naturel. Cela induit une forte dépendance à l'égard des pays producteurs de gaz naturel. L'Europe et la France ont le choix entre importer du gaz, importer de l'ammoniac précurseur des engrais ou importer directement des engrais azotés.

L'industrie des engrais, à l'origine puissante en France et en Europe, a subi de profondes restructurations depuis la crise énergétique des années 1970. Le nombre d'entreprises et d'usines, ainsi que leur capacité de production, ont été fortement réduits, et l'Europe importe aujourd'hui une grande partie de ses engrais azotés. En France à horizon 2024 il restera 4 usines productrices d'ammonitrates, détenues par deux groupes européens. En 20 ans, notre dépendance aux importations d'engrais a doublé ce qui a limité le besoin de la France en gaz naturel. Au total, la production française couvre 33 % de la consommation d'azote minéral, le reste étant importé pour moitié des autres états membres (surtout des ammonitrates) et pour moitié des pays tiers disposant d'importantes ressources gazières (Algérie, Egypte, Etats-Unis, Trinidad-et-Tobago, Russie) notamment sous forme d'urée et de solution azotée.





**03.**

## **Production de ressources agricoles d'un côté, protection de l'environnement et du climat de l'autre : quels enjeux ?**

La fertilisation azotée apparaît nécessaire pour produire les denrées indispensables à notre alimentation. De ce point de vue c'est un facteur clé de la stabilité de nos sociétés. Cependant, les impacts de la fertilisation sur l'environnement et le climat posent la question de la réduction de leurs externalités négatives. Quels sont les enjeux ? Quels équilibres construire entre ces différents intérêts afin de ne pas atteindre de point de rupture pour l'agriculture, pour l'environnement et pour le climat ?

### **Enjeux agricole et alimentaire : assurer la production agricole en quantité et en qualité**

Il est bon de rappeler que durant les crises successives, dont celle du Covid, l'approvisionnement alimentaire de la France n'a pas été compromis car le pays bénéficie d'un taux d'autonomie en denrées alimentaires très élevé et demeure une puissance agricole de premier plan. À l'inverse, certains pays de

la ceinture méditerranéenne sont régulièrement impactés par les crises affectant les marchés alimentaires mondiaux.

La France est aussi une puissance exportatrice de premier plan et présente un solde commercial agroalimentaire qui est excédentaire de 8.2 milliards d'euro en 2022<sup>4</sup>. Elle produit 1.5 à 2 fois plus que ses besoins en céréales et exporte vers les pays de l'Europe, du Maghreb, d'Afrique de l'Ouest, du Proche et du Moyen-Orient et la Chine.

Il apparaît essentiel que la France puisse maintenir son niveau actuel de production agricole, dans un contexte de changement climatique, à la fois pour garantir des prix alimentaires acceptables sur son

<sup>4</sup> Agreste Conjoncture, Infos rapides n° 016, Commerce extérieur agroalimentaire, février 2022

marché intérieur mais également pour alimenter les marchés internationaux, garantissant ainsi à chacun son droit à l'alimentation. Dans ce contexte il apparaît que les fertilisants azotés permettent de sécuriser les récoltes quantitativement et qualitativement et contribuent ainsi à la disponibilité alimentaire, première composante de la sécurité alimentaire.

## Enjeux environnementaux et climatiques : des impacts à prendre en compte

La fertilisation azotée peut présenter, dans certains contextes pédoclimatiques, des impacts négatifs sur l'environnement. Les transferts de composés azotés vers le sol, l'air et l'eau peuvent participer à la pollution des écosystèmes et contribuer au changement climatique.

Pour atténuer ces effets, différentes politiques publiques et mesures législatives ont été mises en place : directive nitrate, directive européenne relative à la réduction des émissions de certains polluants atmosphériques, conditionnalité des aides financières de la PAC, stratégie nationale bas carbone. Car en effet, les engrais minéraux et organiques azotés peuvent avoir des impacts négatifs sur l'environnement et le climat, quand ils ne sont pas utilisés avec précision.

### Enjeux qualité de l'eau : Le risque de lessivage

Lorsque la quantité d'engrais épandue dépasse les besoins nutritionnels des plantes, l'azote qui reste dans le sol après la récolte peut être lessivé par les pluies pendant la période d'interculture (si aucun couvert n'est implanté pour absorber cet excédent ou si le couvert implanté n'a pu se développer du fait de conditions trop sèches par exemple). Les nitrates en excès passent des sols agricoles aux eaux de surface et aux eaux souterraines, entraînant une dégradation de la qualité de l'eau.

La teneur en nitrate dans l'eau potable est réglementée par une norme maximale admissible de 50 mg/l. En France, 11 % des nappes métropolitaines sont au-dessus de 40 mg/l mais ces teneurs présentent une tendance à la baisse dans la majorité des bassins (sauf Bassin parisien<sup>5</sup>) grâce aux actions engagées par les agriculteurs.

Les nitrates peuvent aussi être entraînés par ruissellement dans les eaux de surface continentales (rivière, lac, mare) ou marines. Les concentrations élevées en azote contribuent alors à l'eutrophisation de ces milieux par prolifération d'algues préjudiciable à l'ensemble de la biodiversité de ces écosystèmes.

Pour réduire ces risques, la directive «Nitrates» a été adoptée au niveau européen dès 1991. Elle désigne notamment des zones vulnérables (ZV) associées



<sup>5</sup> Commissariat Général au Développement Durable (CGDD), 2015, « Etudes & documents n°136 - Les pollutions par les engrais azotés et les produits phytosanitaires : coûts et solutions | Observatoire de l'environnement en Bretagne ».

à un programme d'actions obligatoires, révisé tous les 4 ans. En France, 68 % de la surface agricole, soit 19 millions d'hectares, est classée en zones vulnérables. Dans ces zones, des restrictions et des recommandations fortes sont en place pour gérer la fertilisation azotée et prévenir les pertes vers le milieu.

### Enjeux qualité de l'air : Le risque de volatilisation

Dans les jours qui suivent leur épandage les engrais azotés minéraux et organiques peuvent dégager de l'ammoniac dans l'atmosphère par volatilisation. Ce phénomène est favorisé lorsque les conditions climatiques ne sont pas optimales au moment des épandages (temps sec, chaud et/ou venteux notamment). En 2020, le secteur agricole a été responsable de 93 % des émissions nationales d'ammoniac.

L'ammoniac est un précurseur de particules fines. Il intervient dans la formation des oxydes d'azote dans l'atmosphère. Associés aux composés organiques volatils (proviennent majoritairement du résidentiel-tertiaire) et sous l'effet du rayonnement solaire, ils participent à la formation de l'ozone.

Des dispositions réglementaires ont été prises au niveau européen pour réduire la pollution de l'air. Ainsi la directive (EU) 2016/2284 fixe des objectifs nationaux de réduction des émissions de certains polluants atmosphériques. Pour y répondre, l'état français a mis en place un plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) visant à atteindre les objectifs de réduction des émissions d'ammoniac de 13 % et de particules fines de 57 % en 2030 par rapport à 2005. Un volet agricole y a été intégré en 2017.

### Enjeux climatiques : Le risque d'émissions de gaz à effet de serre

En France, le secteur agricole est responsable de 19 % des émissions de gaz à effet de serre. En comparaison, le secteur le plus émissif est celui du transport (31 %). Ces gaz à effet de serre du secteur agricole sont essentiellement constitués de méthane pour 45 %, émis par les activités d'élevage (fermentation entérique des ruminants) et de protoxyde d'azote pour 42 % lié principalement à la fertilisation azotée organique et minérale.

Les émissions de protoxyde d'azote ont lieu au cours

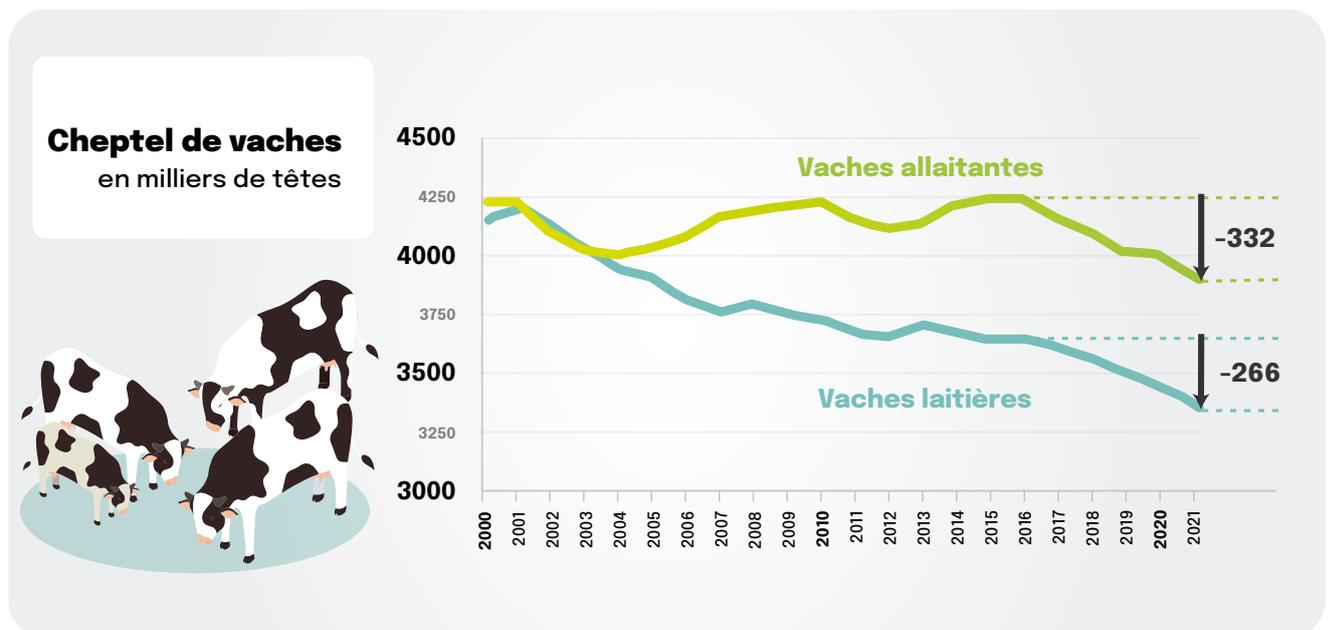


Figure 9 : Évolution du cheptel de bovin de décembre 2000 à décembre 2021 en 1000 têtes (source GEB-IDELE)

de la nitrification qui correspond à la transformation de l'azote dans le sol. Ce protoxyde d'azote est émis en petite quantité dans l'atmosphère mais c'est un puissant gaz à effet de serre : il a un pouvoir réchauffant 265 fois plus important que le dioxyde de carbone et une longue durée de vie (110 ans). Il est également destructeur de l'ozone stratosphérique.

Les émissions de protoxyde d'azote du secteur agricole représentent 88 % des émissions nationales pour ce gaz. Exprimé en équivalent CO<sub>2</sub>, le protoxyde d'azote agricole constitue 10 % des émissions nationales de gaz à effet de serre. Entre 1990 et 2020, ces émissions de protoxyde d'azote du secteur agricole ont diminué de 14 %<sup>6</sup> du fait d'une meilleure utilisation de l'azote (fertilisation raisonnée) et d'une baisse des cheptels en élevage (notamment bovin) (figure 9).

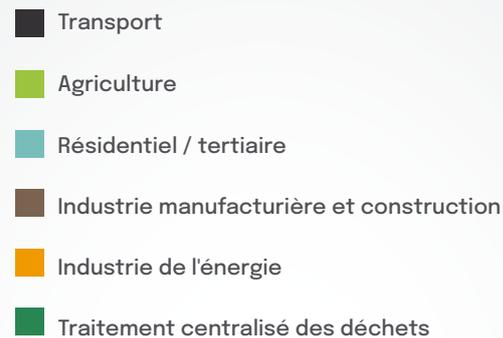
### Enjeux qualité des sols : Le risque d'acidification

L'acidification des sols est due à une élévation de la concentration en protons dans les sols. C'est un phénomène naturel qui a lieu au printemps et en été. Il est engendré par l'activité biologique et la pluie, mais le processus peut être accéléré par certaines pratiques agricoles : cultures de légumineuses, apport d'engrais azotés ammoniacaux notamment. Les fertilisants ammoniacaux, lorsqu'ils sont nitrifiés puis absorbés, libèrent en effet des protons qui contribuent à l'accélération du processus d'acidification. Les agriculteurs font preuve d'une importante vigilance sur le sujet et pour compenser, ils apportent des amendements calciques ou calco-magnésiens lorsque c'est nécessaire. Grâce à ces actions, le pH des sols est resté stable ou a augmenté (moins acide) entre les périodes 2000 et 2010<sup>7</sup>.



## Quelques chiffres

Part des différents secteurs d'activité dans les émissions de gaz à effet de serre en France en 2020



Source : CITEPA

<sup>6</sup> Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire. « Projet de rapport du Plan d'Action National Eco-Azote (PANEA) », 2023.

<sup>7</sup> BOUTHIER A. et CASTILLON P., 2011, Perspectives Agricoles 374 : Acidification - Principe et mécanismes : Pourquoi les sols s'acidifient ?



## 04. Quelles innovations pour améliorer la production des engrais et l'efficacité de la fertilisation ?

L'agriculture européenne du XIXe siècle assurait la fertilisation des cultures par le recours aux effluents d'élevage et aux légumineuses fourragères. Ces plantes, grâce à des phénomènes de symbiose avec des bactéries, ont la capacité de valoriser l'azote de l'air. L'azote fixé est ensuite rendu disponible à la culture suivante par la décomposition de la légumineuse, après sa coupe. La connexion entre l'élevage et les cultures assurait également le maintien de la fertilité des sols.

Ce n'est qu'en 1913 qu'est mis au point le procédé industriel qui va permettre de produire des engrais minéraux azotés.

L'utilisation des engrais organiques contenant de l'azote a néanmoins perduré en s'appuyant sur divers traitements biologiques ou physico-chimiques.

Il faut, dans les deux cas, des procédés plus ou moins élaborés pour produire des engrais efficaces et sûrs. C'est-à-dire, des engrais performants dont les impacts sont limités sur l'environnement, tout en maintenant un bon niveau de rendement et de production.

# Comment fabrique-t-on de l'engrais azoté ?

L'énergie nécessaire à la synthèse des engrais azotés provient presque exclusivement des énergies fossiles et principalement du gaz naturel.

## Mode de fabrication des engrais minéraux azotés

Le procédé Haber-Bosch est le procédé par lequel l'azote gazeux de l'atmosphère est combiné à l'hydrogène, pour produire de l'ammoniac, puis des engrais azotés. L'ammoniac est la matière première de base de toute l'industrie des engrais azotés. Par réactions chimiques successives, il permet d'obtenir différentes formes d'engrais azotés (figure 10) :

- + L'urée est obtenue par combinaison de l'ammoniac et du dioxyde de carbone ;
- + L'oxydation de l'ammoniac donne l'acide nitrique qui est ensuite transformé en nitrate d'ammonium utilisé pour la fabrication des ammonitrates ;
- + Le nitrate d'ammonium en mélange avec l'urée, permet d'obtenir des solutions azotées.

## Les matières fertilisantes organiques brutes ou transformées

En France le gisement de matières organiques est estimé à 729 millions de tonnes de matières brutes dont 300 millions sont effectivement épandues<sup>8</sup>. Les effluents d'élevage récupérables (50% des déjections émises, en bâtiment et non en pâture) en représentent l'essentiel. Ils sont épandus en grande majorité sans traitement préalable. D'autres MAFOR sont valorisables par le secteur agricole : les composts végétaux issus de déchets de collectivités, les boues hygiénisées des stations d'épuration, les effluents organiques des industries agro-alimentaires ou encore les digestats de méthanisation.

Les MAFOR peuvent subir divers traitements biologiques ou physico-chimiques avant épandage : compostage, déshydratation, séchage. Ces processus permettent de stabiliser la matière organique et de garantir sa qualité et ses caractéristiques physiques et chimiques.

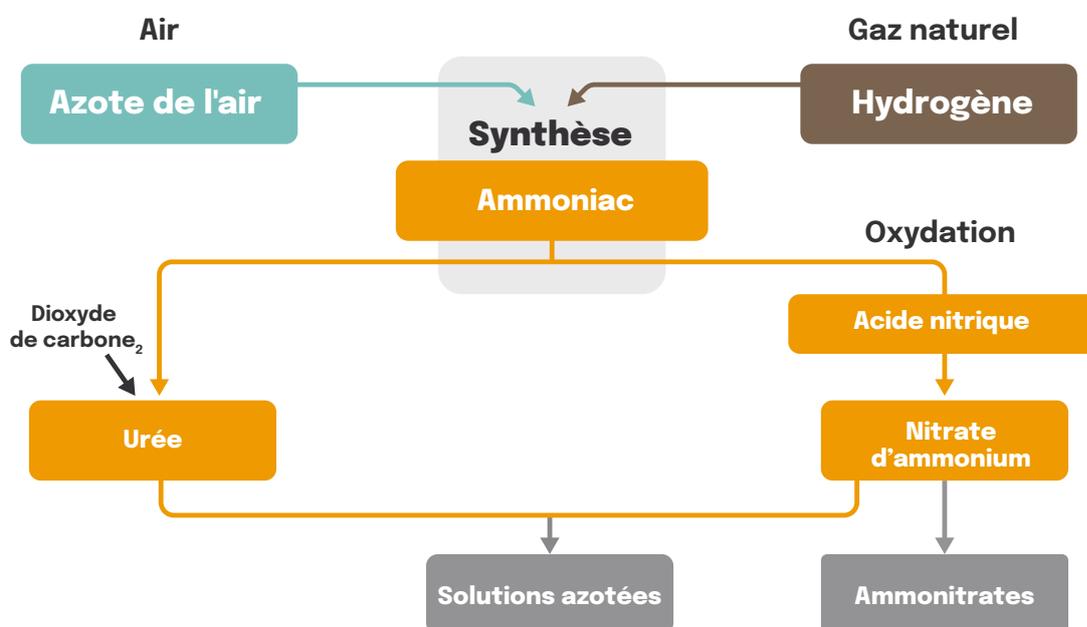


Figure 10 : la fabrication des engrais azotés de synthèse

8 ADEME, 2018. Matières fertilisantes organiques : gestion et épandage. Guide des bonnes pratiques.

Le recours aux MAFOR permet de contribuer au recyclage des nutriments à l'échelle d'un territoire, à l'amélioration des propriétés physiques du sol (stabilité, structure, porosité), à la stimulation de l'activité biologique des sols (microbiologie, macrofaune) et à la lutte contre le réchauffement climatique par un stockage additionnel de carbone dans les sols agricoles. Cependant, le déploiement de ces produits se heurte à plusieurs difficultés et notamment leur disponibilité en quantité suffisante et effective du fait d'une répartition inégale de ces matières difficilement transportables sur de grandes distances en lien avec la spécialisation géographique des territoires d'élevage.

## Processus de fabrication et engrais : des innovations permanentes

Les externalités négatives liées à l'usage des engrais sont en partie dues aux émissions de gaz dans l'environnement liées au processus de fabrication. Il existe actuellement des innovations pour réduire ces externalités et s'inscrire ainsi dans la dynamique de la neutralité carbone de l'agriculture, imposée par les textes internationaux et européens.

### Procédés de fabrication innovants pour réduire l'impact

L'amélioration continue des procédés industriels permet de réduire la consommation énergétique du secteur et donc les émissions de gaz à effet de serre liés à la production d'engrais minéraux azotés. Certains industriels développent notamment des innovations performantes au niveau des procédés de production tels que des catalyseurs qui réduisent d'abattre jusqu'à 99% les émissions de protoxyde d'azote provenant de la production d'engrais.

Pour aller plus loin dans la décarbonation de cette production, il est nécessaire de travailler à moyen terme sur la décarbonation de la production d'hydrogène, élément central de la fabrication de l'ammoniac et donc des engrais azotés. Différents procédés permettent de produire de l'hydrogène « bleu », « vert » ou encore « jaune », avec des émissions de GES associées fortement réduites. Ainsi, l'hydrogène « vert » ou « jaune » permet une réduction jusqu'à 75 % des émissions par rapport aux procédés actuels qui consomment des énergies fossiles<sup>9</sup>. Cependant les coûts de ces engrais décarbonés sont actuellement nettement supérieurs aux coûts de production des engrais "conventionnels" (rapport estimé de 1 à 3).



## Pour aller plus loin



### Hydrogène «bleu»

Le CO<sub>2</sub> émis à la production est capté et stocké, c'est-à-dire enfoui dans des cavités ou réutilisé dans l'industrie



### Hydrogène «vert»

Production par électrolyse de l'eau à partir d'électricité provenant d'énergie renouvelable



### Hydrogène «jaune»

Fabrication par électrolyse de l'eau à partir d'électricité décarbonée provenant du nucléaire

<sup>9</sup> Notes scientifiques de l'office, 2021. [https://www.senat.fr/fileadmin/Fichiers/Images/opecest/quatre\\_pages/OPECEST\\_2021\\_0032\\_note\\_hydrogene.pdf](https://www.senat.fr/fileadmin/Fichiers/Images/opecest/quatre_pages/OPECEST_2021_0032_note_hydrogene.pdf)

Il faut par ailleurs noter que l'électrification de la production d'engrais azotés peut poser des problèmes de conflits d'usages et de disponibilités, dans un contexte où beaucoup de secteurs (acierie, transport, matériaux de construction,...) cherchent à décarboner leurs productions. Ainsi, l'Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques estime que la stratégie européenne de développement de la production d'hydrogène « vert » devrait conduire, d'ici 2030, à la mise en service d'un million d'éoliennes supplémentaires ou de 5 à 6 millions d'hectares de panneaux photovoltaïques pour couvrir les nouveaux usages électriques.

### ■ Formulations innovantes

L'urée et les solutions azotées sont des formes azotées plus émissives en ammoniac ce qui a un impact négatif sur la qualité de l'air. Pour réduire ces émissions, certaines formulations d'engrais azotés contiennent un inhibiteur d'uréase, qui limite efficacement les pertes d'azote dans l'air. Cette technologie permet de réduire de 70 % les émissions d'ammoniac pour l'urée et de 40 % pour la solution azotée<sup>10</sup>.

D'autres formulations contiennent des inhibiteurs de nitrification, qui ralentissent le processus de nitrification dans le sol, c'est-à-dire le passage de la forme ammonium à la forme nitrate en agissant sur l'activité de certaines bactéries. En retardant la transformation de l'ammonium en nitrate, les inhibiteurs réduisent le risque de pertes d'azote par lessivage et diminuent les émissions de protoxyde d'azote. Dans la méthode Label Bas Carbone\*, il est admis que l'utilisation d'inhibiteurs de nitrification réduit de 20 % les émissions directes de protoxyde d'azote au champ<sup>11</sup>.

Au regard de ces performances techniques, les Britanniques ont décidé d'imposer les inhibiteurs d'uréase dès le 1<sup>er</sup> avril 2024 pour tous les engrais solide ou liquide contenant plus de 1 % d'urée, et ce afin de réduire efficacement les émissions d'ammoniac. Cette réglementation avait déjà été mise en place en Allemagne en 2019.



## Ce qu'il faut retenir

L'innovation est au cœur des solutions afin de répondre au double enjeu de production de ressources agricoles et de protection de l'environnement. Que ce soit la décarbonation de la production des engrais azotés, les formulations innovantes d'engrais, ou les biostimulants, il est nécessaire de poursuivre la recherche et l'innovation. Rien ne doit être négligé pour améliorer les leviers d'amélioration ! Cela suppose un accompagnement positif et volontariste des politiques publiques aussi bien au niveau du droit, des aides pour améliorer la recherche et la réalisation d'essais supplémentaires, que de la formation et de l'enseignement agricoles.

### ■ Biostimulants

Un biostimulant est un produit qui stimule les processus de nutrition des végétaux, dans le but d'améliorer l'efficacité d'utilisation des nutriments, la résistance aux maladies, la tolérance aux stress abiotiques, certaines caractéristiques qualitatives ou encore la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol.

Composés d'ingrédients naturels, les produits de biostimulation peuvent être de différentes natures : métabolites de fermentation, extraits d'algues ou de plantes, micro-organismes, champignons, bactéries. Selon les fabricants, certains biostimulants peuvent être utilisés pour améliorer l'efficacité de l'azote et ainsi en réduire l'usage. Il reste cependant encore des efforts à fournir afin d'aboutir à des solutions encore plus performantes que celles actuellement disponibles sur le marché<sup>12</sup>. L'ensemble de la profession reste donc très active sur ce sujet, qui pourrait offrir des perspectives intéressantes.

10 Air pollutant emission inventory guidebook, EMEP, 2016

11 Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRA, 2013.

12 Essais sur blé tendre - Que retenir des performances technico-économiques de six biostimulants ? ARVALIS, 2020.



05.

## Quelles bonnes pratiques agricoles pour économiser les engrais et réduire leurs impacts ?

Il existe des pratiques agricoles qui permettent de réduire l'impact de la fertilisation azotée sur les écosystèmes. Il s'agit d'abord de mettre en place des pratiques visant à améliorer la fertilité biologique et chimique des sols ; et d'autre part de raisonner les apports d'engrais au plus près des besoins des cultures.

### Introduction de légumineuses : des légumes secs aussi bons pour la santé que pour fixer l'azote !

Les légumineuses sont des plantes qui ont la capacité de fixer l'azote de l'air grâce à des bactéries localisées dans des nodosités présentes sur leurs racines. La culture est autonome en azote, aucun apport de fertilisant azoté n'est nécessaire. L'introduction de

légumineuses dans les systèmes de culture permet de réduire les apports de fertilisants azotés en restituant à la culture suivante l'azote contenu dans les résidus de culture de légumineuses.

Ces résidus facilement dégradables vont libérer, en quelques semaines, de l'azote assimilable par les plantes qui n'ont pas de nodosités (blé, orge, maïs, betterave, tournesol...). En moyenne, ce sont 20 à 40 kg d'azote par hectare qui sont ainsi économisés. Toutefois, si cet azote assimilable n'est pas capté et valorisé par une culture ou un couvert, il sera lixivié vers les eaux.

Les légumineuses peuvent être introduites :

1. Dans une prairie comme fourrage récolté ou pâturé (économie sur la fertilisation du fourrage et augmentation de l'autonomie protéique des élevages) ;
2. Dans une rotation pour la production de graines riches en protéines destinées à la consommation humaine ou animale ;
3. En association avec une autre culture.

De nombreuses études démontrent que le développement des légumineuses à graines et fourragères dans les systèmes agricoles permettraient d'économiser de l'ordre de 30 % des consommations d'engrais azotés minéraux (environ 240 000 t N/an en France). À l'échelle mondiale, l'association de légumineuses et de céréales permettrait d'économiser 26% des engrais minéraux azotés<sup>13</sup>.

Toutefois, un certain nombre de freins entravent le développement de la culture de légumineuses.

En premier lieu, ce sont des filières qui ont, à l'heure actuelle, peu de débouchés. Elles présentent aussi des problèmes liés aux pathogènes qui infectent ces plantes pour lesquels il n'existe plus de moyen de lutte efficace à l'heure actuelle. Ainsi, si les bénéfices des légumineuses ont été largement démontrés pour le climat et l'environnement, il reste à convaincre les consommateurs de les consommer. De plus, c'est une filière qui est fortement concurrencée par les productions étrangères, les marges dégagées sont faibles et les rendements sont contraints par un retard de la recherche variétale et une forte variabilité annuelle due aux conditions climatiques.



## Pour aller plus loin

**Les légumineuses**, souvent appelées « légumes secs », désignent des plantes dont les fruits comestibles sont contenus dans des gousses. Cette famille regroupe une grande variété d'espèces végétales cultivées partout dans le monde : le soja, l'arachide, le haricot, les pois, les fèves, les lentilles, le trèfle, la luzerne sont les légumineuses les plus cultivées.

**Introduites dans les rotations, les légumineuses permettent de réduire le recours aux engrais azotés.**

## Cultures ou variétés moins consommatrices d'azote : pertinentes mais...

Des différences variétales sont connues pour certaines espèces cultivées, il est donc possible de privilégier les variétés ayant des besoins plus faibles en azote. Toutefois, cette pratique est limitée par la disponibilité et l'adaptabilité de ces variétés aux différents contextes pédoclimatiques et aux exigences de l'aval en termes de taux de protéines dans le grain.

Certaines cultures telles que le lin, l'orge, le seigle, l'avoine, le sarrasin ou le tournesol ont des besoins en azote relativement faibles. L'introduction de ces cultures dans la rotation permet de réduire les apports d'engrais azotés.

Toutefois, elles disposent de débouchés limités, sont soumises à de plus fortes variations de rendement liées au contexte climatique et à la pression de pathogènes. Par ailleurs elles dégagent souvent une moindre marge que le blé, le maïs et le colza qui sont des cultures plus compétitives en France mais aussi plus exigeantes en azote.

## Implantation de couverts végétaux pour capter le surplus de nitrates dans les sols : réalisable sous conditions

L'implantation de couverts d'interculture peut permettre de capter le surplus de nitrates des sols afin d'éviter leur transfert vers l'eau et l'air. Des dispositifs réglementaires sont mis en place pour favoriser leur appropriation par les agriculteurs (Directive nitrate, PAC, Surface d'Intérêt Ecologique). Une fois capté par

<sup>13</sup> IPCC WG III contribution to the Sixth Assessment Report, Chapter 5, p. 82 (2022)

le couvert, l'azote est restitué à la culture suivante après sa destruction et sa décomposition.

Pour choisir le couvert et les espèces le constituant, il faut prendre en compte sa position dans la rotation, son effet sur la culture suivante, la date de semis, sa durée de vie, le type de sol sur lequel il est implanté et le moyen de destruction employé. Cela introduit de la complexité dans la gestion de l'exploitation. De plus, les sécheresses estivales peuvent ne pas permettre une implantation efficace d'un couvert et limiter son efficacité.

## Une fertilisation raisonnée : un usage d'engrais calculé précisément

Raisonner la fertilisation azotée, c'est apporter la bonne dose, au bon endroit et au bon moment.

### ■ Calcul de dose d'azote prévisionnelle

En France, le raisonnement de la fertilisation est basé sur le calcul de la dose d'azote prévisionnelle dont aura besoin la culture. C'est une méthode qui permet d'ajuster les apports d'engrais minéraux ou organiques aux besoins de chaque culture et de chaque parcelle. Le but est d'éviter les carences et les excès azotés afin de remplir les objectifs de production, de limiter les transferts dans l'environnement et d'assurer la rentabilité.

La méthode générale est basée sur l'équation établie par le COMIFER<sup>14</sup>. Elle consiste à calculer la quantité d'azote nécessaire en soustrayant des besoins en azote aux fournitures en azote (Figure 11) et en tenant compte des particularités agro-climatiques de chaque région.

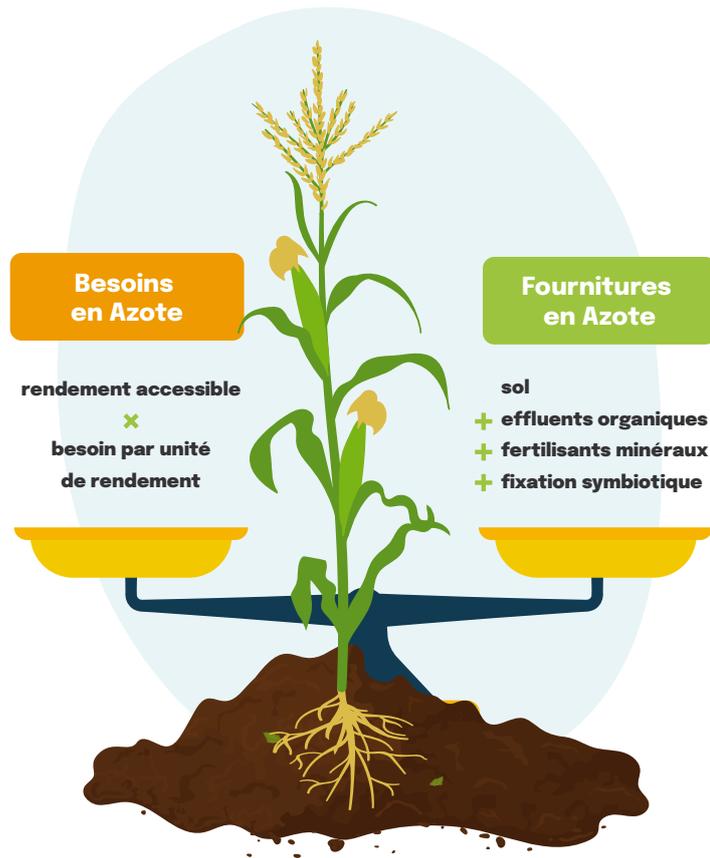


Figure 11 : Bilan prévisionnel simplifié

### ■ Pilotage de la fertilisation et ajustement de la dose d'azote

Le calcul de la dose prévisionnelle d'azote inclut deux incertitudes :

1. Il est difficile de prévoir le volume de production qui sera atteint (incidence du climat, pression des bio-agresseurs)
2. L'estimation des fournitures du sol se base sur des hypothèses de minéralisation de l'azote qui dépendent des conditions climatiques.

Pour y remédier, de nombreux outils de pilotage de la fertilisation ont été développés. Ils permettent de diagnostiquer l'état de nutrition azotée en cours de culture et d'ajuster à la hausse ou à la baisse la dose d'engrais à apporter en fonction de règles de décisions.

14 COMIFER, 2013. «Calcul de la fertilisation azotée - Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales».

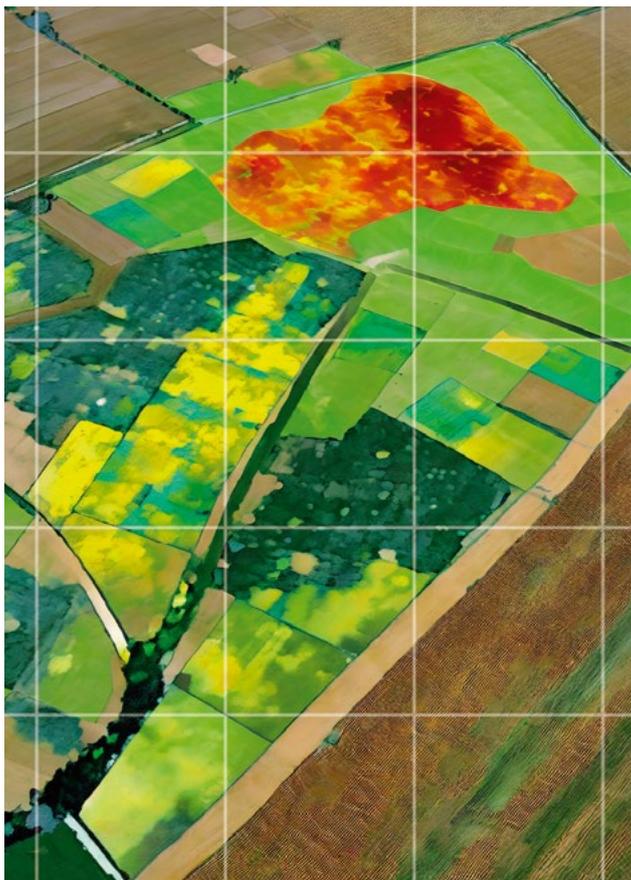


Figure 12 : Carte de modulation intra-parcellaire de la dose d'azote par mesure satellitaire (Farmstar)

Différentes technologies ont été développées et continuent de se perfectionner pour mettre à la disposition de la profession agricole des outils opérationnels ou outil d'aide à la décision.

Ils fonctionnent généralement grâce à des capteurs optiques qui mesurent la concentration en chlorophylle des feuilles, qui est un indicateur de la nutrition azotée de la culture.

Ces capteurs peuvent être embarqués sur des appareils manuels, des engins agricoles ou des satellites. Généralement, ils permettent de remplir une ou plusieurs fonctions : estimation de l'azote absorbé, pilotage de la date d'apport et pilotage de la dose en fonction de l'hétérogénéité parcellaire. Ainsi, lorsqu'ils sont équipés, les agriculteurs peuvent ajuster avec précision la dose d'azote aux besoins de la culture en tenant compte de la variabilité intra-parcellaire.

Un nouveau concept appelé pilotage « intégral »<sup>15</sup> cherche à s'affranchir des estimations a priori de la dose prévisionnelle et privilégie le raisonnement des apports sur la base d'un diagnostic de l'état de nutrition des plantes estimé en temps réel. Les dates d'apport sont ensuite guidées par les conditions pédoclimatiques, afin d'optimiser la valorisation de l'azote apporté.

L'utilisation d'un outil de pilotage couplé au calcul de la dose prévisionnelle permet de réduire de 10 à 15 % la dose totale d'azote apporté.

## Augmenter l'efficacité des apports d'engrais azotés et maîtriser les pertes dans l'environnement

Le raisonnement de la fertilisation ne s'arrête pas au choix de la quantité apportée. Des pertes azotées sous forme de volatilisation ammoniacale ont lieu au moment de l'épandage. Elles sont dépendantes de la forme d'engrais (organique ou minérale), des conditions d'apport (humidité, vent, pH du sol) et du fractionnement de la dose.

Des recommandations d'usage permettent de limiter voire supprimer les pertes par volatilisation (Tableau 1 et 2).

Certains épandeurs permettent d'apporter l'engrais au plus près des racines des plantes pour une meilleure valorisation. Toutefois, cette pratique n'est pas possible avec toutes les cultures et elle n'est en général faisable qu'au semis, alors que l'essentiel de l'azote doit, pour des raisons d'efficacité, être apporté lorsque la culture est en place au plus près des besoins. La volatilisation va alors dépendre des précipitations observées dans les heures ou les jours suivants.

<sup>15</sup> Taulemesse, Degan, et Soenen, 2021. « Pilotage intégral de la fertilisation azotée : vers une intégration en temps réel de l'hétérogénéité parcellaire ».

 <b>Choix de la forme</b>	 <b>Positionnement</b>	 <b>Conditions d'apport</b>
Préférer la forme nitrique à la forme urique ou ammoniacale.	Avant semis : enfouir ou localiser En couverture : apporter en période de forte croissance.	Éviter les fortes températures et le vent. Épandre pendant ou avant un épisode pluvieux.

Tableau 1 : Recommandations pour limiter la volatilisation lors de l'épandage d'engrais azotés minéraux (CORPEN, 2006)

 <b>Conditions climatiques</b>	 <b>État du sol</b>	 <b>Dilution du lisier</b>	 <b>Incorporation</b>
Éviter le temps chaud et sec. Épandre avant la pluie en faisant attention au risque de ruissellement ou de lessivage.	Éviter les sols compactés ou desséchés.	Si possible diluer le lisier pour favoriser son infiltration dans le sol.	Incorporer les fumiers dans les heures qui suivent. Déposer le lisier au sol (rampe à pendillards) ou l'enfouir.

Tableau 2 : Recommandations pour limiter la volatilisation lors de l'épandage d'effluents d'élevage (CORPEN, 2006)

La précision de l'épandage est également indispensable à une fertilisation efficiente. Les types d'épandeurs d'engrais utilisés par les agriculteurs, leur maintenance, leur réglage et leur mode de guidage en sont les paramètres clés. L'avènement du GPS et des technologies d'agriculture de précision permettent aussi aux utilisateurs d'ajuster les doses d'azote aux besoins des différentes zones d'une parcelle.

Pour augmenter l'efficacité de l'utilisation d'engrais azotés et maîtriser les pertes dans l'environnement, les apports d'azote doivent, pour la plupart des cultures, être fractionnés.

Le fractionnement permet d'être en adéquation avec les besoins des plantes et de suivre leur évolution, de minimiser les risques de pertes par lixiviation ou volatilisation et de favoriser la teneur en protéines dans le grain pour les céréales. Le nombre d'apports varie selon l'espèce, les objectifs de qualité (taux de protéines), les conditions climatiques et la faisabilité technique.



## Ce qu'il faut retenir

Il existe des pratiques pour limiter les externalités négatives liées aux engrais azotés. L'amélioration de la fertilité biologique et chimique des sols est possible grâce à des pratiques agronomiques éprouvées. Dans le même temps, il est possible de raisonner les apports d'engrais au plus près des besoins des cultures.



# **Conclusion :** **au-delà des engrais azotés,** **l'avenir de l'agriculture et de la** **disponibilité alimentaire**

## **Le Livre Blanc met en lumière que :**

- + La fertilisation est nécessaire pour permettre aux plantes de croître et de se développer, en vue de produire la base de l'alimentation ;
- + L'azote, apporté sous forme d'engrais minéraux ou d'engrais organiques, est indispensable à la croissance des plantes dans un contexte où les systèmes agricoles existants présentent un déficit en azote ;
- + L'utilisation des engrais azotés est donc légitime si on veut maintenir et consolider notre capacité de production agricole et donc notre indépendance alimentaire.

## **Le Livre Blanc alerte néanmoins sur les constats suivants :**

- + Les engrais organiques peuvent apparaître comme présentant une faiblesse structurelle, puisqu'ils ne peuvent satisfaire à la demande actuelle et que la baisse continue de l'élevage accentue le déficit ;
- + Les engrais azotés qu'ils soient organiques ou minéraux, ont des impacts sur la qualité de l'eau, la qualité de l'air, les sols et le climat qui peuvent être fortement atténués.

## Le livre blanc avance des solutions

Néanmoins, le Livre Blanc explique que ces externalités négatives des engrais minéraux et organiques azotés sur l'environnement et le climat peuvent être réduites grâce à la mise en place:

- + Des bonnes pratiques agricoles comme l'introduction de légumineuses, de cultures ou variétés moins consommatrices d'azote, de couverts végétaux ;
- + D'un raisonnement de la fertilisation azotée pour apporter la bonne dose au bon endroit et au bon moment ;
- + De nouveaux procédés industriels permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre liées à la production des engrais minéraux azotés ;
- + D'innovations technologiques comme l'ajout d'un inhibiteur d'uréase, d'un inhibiteur de nitrification et le recours aux biostimulants.

C'est pourquoi, les rédacteurs de ce Livre Blanc émettent les recommandations suivantes pour structurer en cohérence l'ensemble des politiques publiques :

- + Sécuriser les conditions d'accès en quantité et en valeur aux engrais minéraux et organiques azotés pour soutenir la production agricole française ;
- + Encourager le recours aux technologies innovantes pour contribuer activement à la réduction des impacts de la fertilisation sur l'environnement et le climat ;
- + Sensibiliser, informer et former les acteurs de la filière sur les bonnes pratiques à mettre en œuvre pour utiliser toujours mieux les engrais minéraux et organiques azotés.

*Les auteurs de ce Livre Blanc considèrent que l'utilisation des engrais minéraux et des engrais organiques contenant de l'azote doit être considérée dans une perspective d'amélioration continue : il faut pouvoir continuer à produire et à préserver les capacités de production de l'agriculture, y compris dans sa capacité exportatrice, tout en réduisant toujours plus les impacts sur l'environnement et le climat. Et cette dynamique d'amélioration continue doit permettre de satisfaire sur la durée les besoins de l'agriculture et des consommateurs tout en préservant les ressources planétaires.*





## Tables des illustrations

<b>Figure 1</b> : Besoins physiologiques des plantes	7
<b>Figure 2</b> : Cycle simplifié de l'azote, inspiré du schéma de Mariotti, 1996 (MAAF, 2016)	8
<b>Figure 3</b> : Les différentes formes d'azote et leur assimilation par les plantes	10
<b>Figure 4</b> : Processus de minéralisation et d'organisation de la matière organique dans le sol (Arvalis)	11
<b>Figure 5</b> : Les besoins et le positionnement des apports en fertilisation azotée sur blé (Arvalis, 2023)	12
<b>Figure 6</b> : Principaux flux d'azote de la ferme France en 2010 en millions de tonnes d'azote (source : CGDD, 2015)	13
<b>Figure 7</b> : Consommation d'engrais minéraux en 2009 en Kg de nutriment par hectare (Eurostat, 2011)	15
<b>Figure 8</b> : Evolution de l'efficacité de la fertilisation azotée minérale en France métropolitaine en tonne de production récoltée par tonne d'azote utilisée (AGPB, données Agreste et UNIFA)	15
<b>Figure 9</b> : Évolution du cheptel de bovin de décembre 2000 à décembre 2021 en 1000 têtes (source GEB-IDELE)	20
<b>Figure 10</b> : la fabrication des engrais azotés de synthèses	23
<b>Figure 11</b> : Bilan prévisionnel simplifié	28
<b>Figure 12</b> : Carte de modulation intra-parcellaire de la dose d'azote par mesure satellitaire (Farmstar)	29
<b>Tableau 1</b> : Recommandations pour limiter la volatilisation lors de l'épandage d'engrais azotés minéraux (CORPEN, 2006)	30
<b>Tableau 2</b> : Recommandations pour limiter la volatilisation lors de l'épandage d'effluents d'élevage (CORPEN, 2006)	30

---

## Lexique

**CITEPA** : association à but non lucratif qui a vocation à accompagner les acteurs de la transition écologique en France et dans le monde.

**COMIFER** : COMité Français d'Etude et de développement de la Fertilisation Raisonnée.

**Disponibilité alimentaire** : première composante de la sécurité alimentaire, elle consiste en la présence de nourriture de qualité, en quantité suffisante pour assurer l'alimentation de tous. Elle est donc liée à la production de ressources agricoles, indépendamment de leur capacité à circuler.

**GES** : Gaz à Effet de Serre. Six gaz à effet de serre sont suivis dans le cadre du protocole de Kyoto : le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>), les hydrocarbures (HFC) et les perfluorocarbures (PFC).

**Label Bas Carbone** : Créé par le ministère de la Transition Ecologique avec la collaboration de nombreux partenaires, le Label bas-carbone a pour objectif de contribuer à l'atteinte des objectifs de réductions des émissions de gaz à effet de serre à horizon 2050 de la France. Les méthodes Label Bas Carbone, validées par le ministère, visent à quantifier les émissions de GES et le stockage de carbone liés à des pratiques.

**MAFOR** : Matières Fertilisantes d'Origine Résiduaire. Cet acronyme recouvre une large diversité de matières telles que les effluents d'élevage (fientes, lisiers, fumiers...), boues d'épuration, compost de déchets organiques, digestats de méthaniseurs, cendres de biomasse...

**PAC** : Politique Agricole Commune.

**Point de rupture** : degré de tension limite au-delà duquel l'intégrité structurelle d'un ensemble est mis en péril et un grand bouleversement peut être attendu.

**SAU** : Surface Agricole Utile.

**Secteur d'activité d'importance vitale** : Selon le code de la Défense (article R. 1332-2), secteur constitué d'activités qui ont trait à la production et la distribution de biens ou de services indispensables (à la satisfaction pour la vie des populations, à l'exercice de l'autorité de l'Etat, au fonctionnement de l'économie, au maintien du potentiel de défense ou à la sécurité de la Nation) dès lors que ces activités sont difficilement substituables ou remplaçables, ou bien qu'elles peuvent présenter un danger grave pour la population.

**Sécurité alimentaire** : garantie pour toutes les personnes, à tout moment, de l'accès physique et économique d'une alimentation suffisante, sûre et nutritive, qui répond à leurs besoins et préférences alimentaires, leur permettant de mener une vie saine et active. Elle est fondée sur quatre piliers : la disponibilité des ressources, leur accessibilité, leur utilisation adéquate et la stabilité dans le temps de ces trois premiers piliers.

**Souveraineté alimentaire nationale** : état proche de l'autonomie alimentaire où un Etat et sa population contrôlent les mécanismes et les politiques de production et de distribution des aliments permettant leur adéquation au fonctionnement, à la culture et aux écosystèmes nationaux.

**Vulnérabilité climatique** : propension ou prédisposition à être affecté négativement par les changements climatiques (variabilité lente et phénomènes extrêmes rapides). Elle dépend de la sensibilité de l'environnement naturel, de la fragilité de l'environnement humain et des politiques d'adaptation.





### **Association Française de Commercialisation et de Mélanges d'Engrais (AFCOME)**

L'AFCOME rassemble les coopératives et sociétés privées françaises qui pratiquent la distribution de fertilisants et la fabrication d'engrais par mélange. Elle représente et accompagne ses adhérents pour développer leurs compétences réglementaires, qualité et métier pour une agriculture durable, rentable et respectueuse de l'environnement.



### **Association Générale des Producteurs de Blé et autres céréales (AGPB)**

L'AGPB agit pour défendre les valeurs et les intérêts des producteurs français de céréales à paille (blé, orge, avoine, seigle, sorgho...) Mobilisée au quotidien pour construire des solutions favorables à la compétitivité des exploitations céréalières, l'AGPB accompagne les céréaliers pour la réussite de transitions agricoles responsables : produire plus, produire mieux



### **La fédération du négoce agricole (FNA)**

La fédération du négoce agricole (FNA) est un syndicat patronal au service de la défense des intérêts des négociants agricoles français. L'objectif de la fédération est d'accompagner les négociants, de les représenter ainsi que de communiquer sur leur métier



### **La Coopération agricole - Métiers du Grain (LCA Métiers du Grains)**

La Coopération Agricole Métiers du Grain est la représentation unifiée des entreprises coopératives de céréales, d'oléo-protéagineux et d'approvisionnement qui jouent un rôle incontournable dans l'économie agricole, agroalimentaire et agro-industrielle française. Porte-voix politique et force de proposition auprès des pouvoirs publics français et européens, des médias et de la société civile, elle a pour mission de promouvoir le modèle coopératif en valorisant son action économique sur les territoires.

## **CE TRAVAIL A ÉTÉ RÉALISÉ AVEC LE CONCOURS DE FERTILINE**



### **Fertiline**

Filiale d'InVivo, Fertiline réunit l'ensemble des activités nutrition végétale du groupe. Fertiline est le leader sur le marché français des fertilisants minéraux à efficacité améliorée, et contribue activement à travers le développement de ce marché à promouvoir une nutrition minérale équilibrée et respectueuse de l'environnement.