

L'azote

L'azote (N) est un élément nutritif essentiel à la croissance des cultures. Il entre dans la composition des protéines, dont les enzymes, et dans celle des acides nucléiques, dont l'ADN. En tant que composant de la chlorophylle, il joue un rôle vital dans la photosynthèse.

Le cycle de l'azote

Que ce soit du côté des engrais minéraux ou de la fixation symbiotique par les légumineuses, le diazote (N_2) présent dans l'air ambiant sert de point de départ au cycle de l'azote. L'atmosphère de la Terre est composée à 78% de diazote, le reste étant composé de dioxygène (O_2 -21%) et d'autres divers éléments gazeux (CO_2 , ...).

La fixation symbiotique de l'azote

La fixation azotée symbiotique est le processus biologique vital qui permet de convertir l'azote de l'air ambiant (N_2) en azote minéral intermédiaire (azote ammoniacal, NH_3) qui est alors assimilable par les organismes vivants pour constituer les molécules organiques et notamment les protéines. Pour la légumineuse, tout part d'un dialogue moléculaire entre la plante hôte et des bactéries du sol, du genre *Rhizobium* (ou parfois *Bradyrhizobium*). Des mécanismes vont entrer en jeu et déclencher l'infection et la formation de petites excroissances sur les racines : les nodosités. Puis la symbiose se traduit par des échanges réciproques de nutriments entre la plante et le rhizobium hébergé et transformé en bactéroïde dans la nodosité : la plante fournit sucres et énergie et elle bénéficie de l'azote minéral produit par la bactérie par fixation de l'air ambiant. Seules les plantes de la famille des légumineuses sont capables d'assurer cette symbiose.

La nature est bien faite ...

Les légumineuses ont un système racinaire pivotant, moins efficace pour aller chercher les éléments minéraux du sol comparé par exemple aux graminées avec un système racinaire fasciculé et très fibreux. Pour pallier ce handicap, les légumineuses ont développé cette symbiose avec des bactéries qui les alimentent directement en azote.

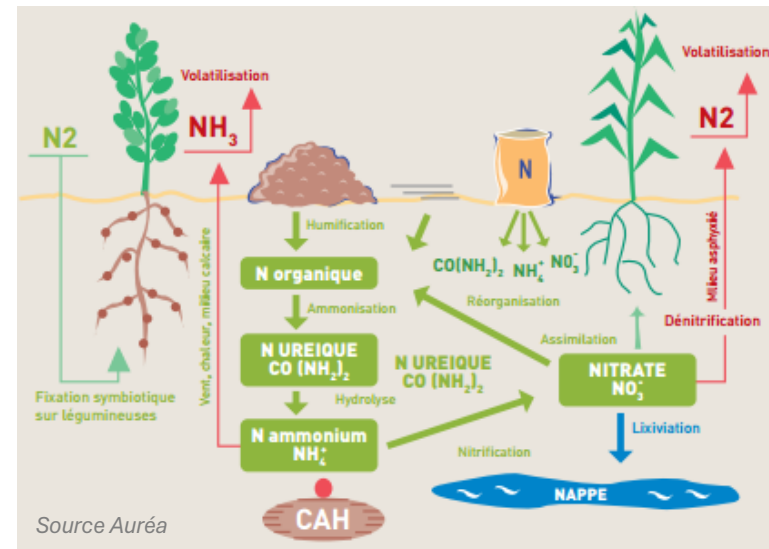


Scan me



C'est ici !

Tout savoir l'azote
avec une courte
vidéo



L'azote organique ou provenant des résidus végétaux

Sous l'action des microorganismes du sol, les résidus végétaux et Produits Résiduels Organiques (PRO) se décomposent au cours du temps (voir chapitre matière organique). En se décomposant, ils libèrent des éléments minéraux : cette étape s'appelle la minéralisation. Plusieurs étapes de transformation par des enzymes sont ensuite nécessaires à l'azote pour qu'il soit absorbable par les plantes. C'est la forme nitrate (NO_3^-) qui est majoritairement et largement absorbée même si il est possible que la forme ammonium (NH_4^+) le soit également.



Des analyses existent pour mesurer la quantité d'azote minéralisable dans son sol
→ il s'agit des analyses APM

La réorganisation

C'est à peu près l'inverse de la minéralisation ! C'est un processus biologique d'assimilation de l'azote minéral par les microorganismes du sol, qui conduit à la formation d'azote organique dans la biomasse microbienne.

Les engrais azotés

Dans nos systèmes de cultures du bassin parisien, les engrais minéraux azotés sont la principale source d'azote pour les cultures. Elle est couramment apportée sous 3 formes :

- uréique $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
- ammoniacale (NH_4^+)
- nitrate (NO_3^-)

Plusieurs types d'engrais

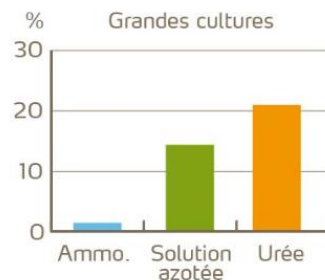
Même si l'azote peut être retrouvé et apporté dans des formules binaires (N+P, N+S, ...) ou complets (N+P+K, ...), c'est majoritairement des apports spécifiques regroupés sous 3 catégories d'engrais azotés qui sont réalisés avec :

- l'urée 46 (100 % de l'azote sous forme uréique)
- solution azotée S39 (50 % de l'azote sous forme uréique, 25% ammonium, 25% nitrate)
- Ammonitrate (50% sous forme ammonium, 50% sous forme nitrate)

La forme uréique la moins chère mais aussi la plus sujette aux pertes dues à la volatilisation

Apportée au sol, l'urée doit être transformée en ammonium (NH_4^+) puis en nitrate (NO_3^-) avant que les plantes ne puissent l'absorber. Les enzymes uréases du sol sont les vecteurs de ce processus dénommé hydrolyse. La dissolution de l'urée dans le sol entraîne une augmentation temporaire du pH autour des granulés, ce qui modifie l'équilibre chimique entre l'ammonium dissout (NH_4^+) , lié aux particules du sol) et l'ammoniac gazeux (NH_3) en faveur de l'ammoniac gazeux qui s'échappe dans l'atmosphère, augmentant les pertes d'azote par volatilisation. Suivant les conditions climatiques (pluie, vent, température, enfouissement, pH du sol), ces pertes peuvent être très importantes.

Perte par volatilisation



C'est ici !

Tout savoir sur les formes d'azote avec une courte vidéo

Pourquoi la volatilisation pose problème ?

En premier lieu c'est une perte économique directe pour l'agriculteur, toutes les unités qui seront volatilisées seront perdues pour la plante.

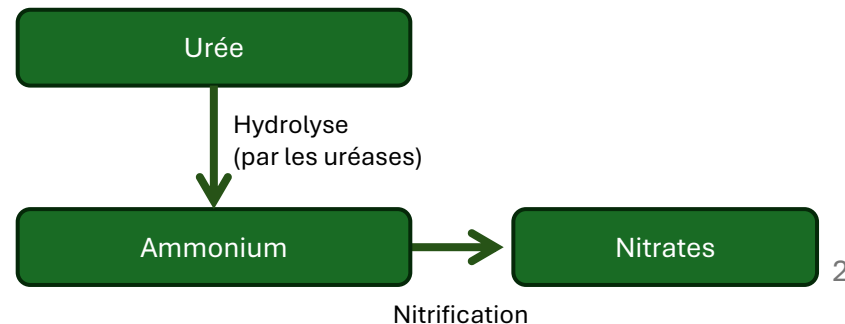
C'est aussi un problème majeur au niveau environnemental où l'agriculture (élevage + cultures) représente une part quasi exclusive au problème (94% au niveau UE). L'azote se volatilise sous forme ammoniac (NH_3) et il réagit dans l'atmosphère avec d'autres substances et forme des particules fines. Ces particules nuisent à la qualité de l'air et présentent un risque pour la santé, surtout chez les jeunes enfants, les asthmatiques et les personnes souffrant d'insuffisance respiratoire.

Des inhibiteurs d'uréase pour limiter la volatilisation

Les inhibiteurs d'uréase sont des substances chimiques qui freinent l'activité de l'uréase naturelle du sol. Ils laissent ainsi plus de temps à l'urée pour s'infiltrer dans le sol, de sorte que le pic de concentration d'ammoniac et le risque de volatilisation à l'épandage soient réduits.



Les inhibiteurs d'uréase avec des engrais type Nexen, permettent des performances équivalentes à l'ammonitrate.



Un terme spécifique pour le lessivage de l'azote : la lixiviation

Chargée négativement, la forme nitrate de l'azote (NO_3^-) n'est pas retenue par le complexe argilo-humique (voir chapitre CEC). Avec les pluies, cet élément va être emporté en profondeur et sera mis hors de portée des racines : ce phénomène s'appelle le lessivage ou spécifiquement pour l'élément azote, la lixiviation.

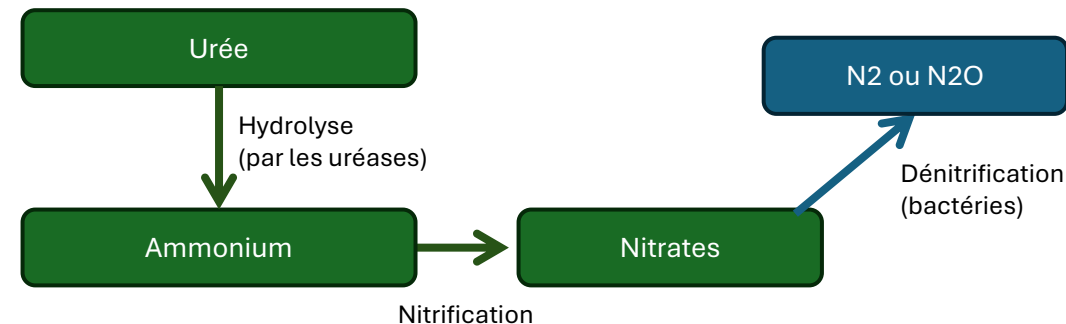
En plus de ne pas servir à l'alimentation des plantes, les nitrates lixiviés finissent leur course dans les nappes phréatiques responsables de pollutions parfois importantes.



Mesurer son reliquat azoté pour connaître précisément les ressources du sol et adapter les apports

La dénitrification, une autre source de perte

Pour obtenir de l'énergie, toutes les bactéries ont besoin d'oxygène qu'elles brûlent. En milieu aérobie, elles utilisent l'oxygène O_2 dissous dans l'eau. En revanche en milieu anaérobie (sols tassés ou gorgés d'eau où il n'y a plus ou peu d'oxygène), elles trouvent l'élément oxygène principalement sur les nitrates, NO_3^- , qu'elles transforment successivement en ion nitrite (NO_2^-), puis en monoxyde d'azote (NO), en protoxyde d'azote (N_2O) et enfin en diazote (N_2). Ce phénomène s'appelle la dénitrification. En plus des pertes économiques puisque l'élément azote ne sera plus valorisable par la culture, le phénomène peut être incomplet, c'est-à-dire que la dénitrification peut être arrêtée à différents stades avec la production possible de N_2O . Ce N_2O (ou protoxyde d'azote) est un puissant gaz à effet de serre 5 fois plus « réchauffant » que le méthane et 300 fois plus le CO_2 (1 molécule de N_2O équivaut à l'effet de 300 molécules de CO_2 en terme d'effet de serre).



La forme ammonium, stockable sur le complexe argilo humique

Comme tous les éléments chargés positivement (voir chapitre CEC), l'ammonium (NH_4^+) peut être adsorbé sur le complexe argilo-humique, c'est donc une forme de « mise en réserve » de l'azote.

Cependant on parle assez peu de ce phénomène, la raison principale étant que le processus de nitrification (passage de NH_4^+ à NO_3^-) est assez rapide. Cela va dépendre de la température mais cette étape prend la plupart du temps une à quelques semaines.

La forme nitrate stockable elle aussi dans le sol ?

Beaucoup moins étudiée que la CEC, le sol possède également une capacité à stocker les anions (éléments chargés négativement) : c'est la Capacité d'Echange Anionique (AEC)

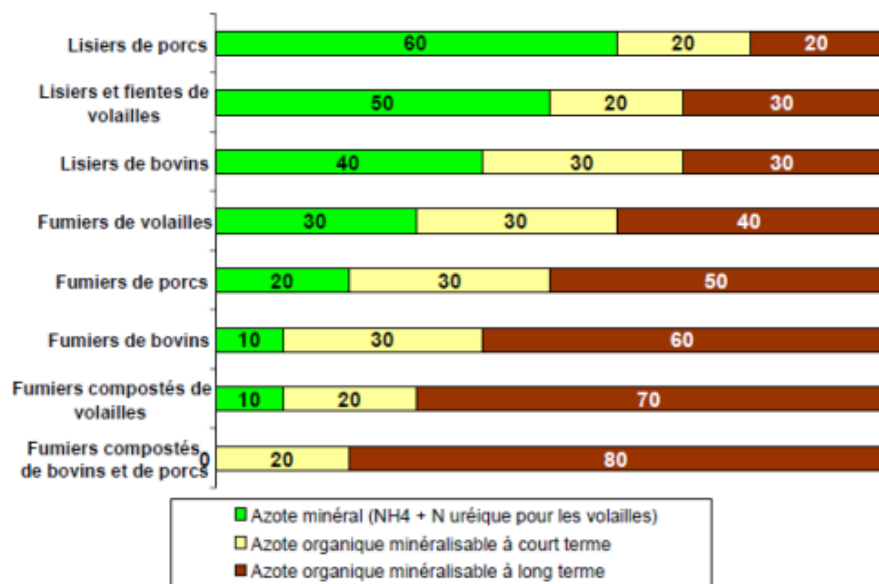
La MO se lie au fer et calcium, qui avec leur double liaison, peuvent se lier avec un ion chargé négativement (ex : nitrate NO_3^- ou sulfate SO_4^{2-}). La MO augmente donc aussi l'AEC et limite dans une certaine mesure le lessivage de ces éléments.



Beaucoup moins connue que la CEC, l'AEC d'un sol est sa capacité à fixer des éléments chargés négativement

Azote et Produits Résiduels Organiques

Concernant l'azote, la vitesse de mise à disposition de la fraction organique est très variable selon les types de PRO. Pour certains, tels que les fientes de volailles, la part de l'azote organique à minéralisation plus rapide est plus importante, alors que pour d'autres, tels que les composts de déchets verts ou fumiers la part de l'azote à minéralisation rapide est très faible. Pour certains types de compost très peu évolués ou même directement du BRF, ces apports vont même consommer de l'azote pour leur dégradation.



Point sur les différents termes

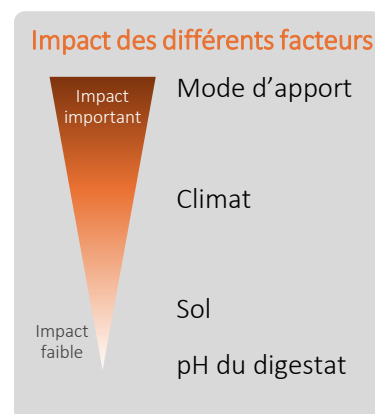
- Effet direct N (année 1) : Assimilable dans l'année suivant l'apport : N minéral + N minéralisable très rapidement (se retrouve en grande partie dans le « reliquat » d'azote minéral du sol en sortie d'hiver si apport à l'automne).
- Effet N à court terme (année 2) : Assimilable dans les deux ans suivant l'apport : minéralisation du produit selon sa composition et en fonction de paramètres tels que le système de culture ...
- Effet à long terme ou « arrière-effet » (décennies) : Minéralisation du produit sur le long terme, du fait de la nature « récalcitrante » du produit pour la dégradation. La libération d'azote minéral est faible, mais le produit contribue à l'augmentation du stock de MO du sol.

Attention aux pertes par volatilisation pour les formes de PRO liquides

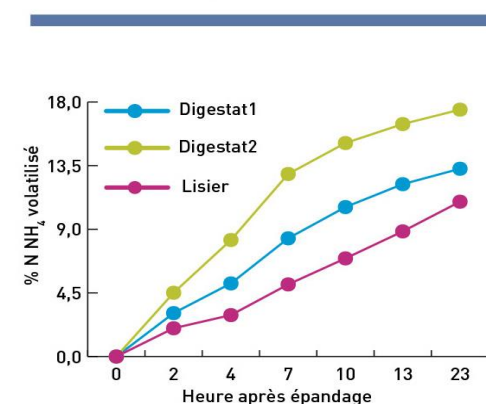
Une part importante de l'azote ammoniacal contenue dans les PRO peut être perdue par volatilisation. Ces pertes sont d'autant plus importantes pour les formes liquides tels que lisiers et digestats riches en azote.

Pour limiter la volatilisation, le principal facteur va être la profondeur et la vitesse d'enfouissement de ces produits : plus ils seront enfouis rapidement et profondément après l'apport et plus ces phénomènes seront limités.

D'autres facteurs peuvent également avoir un impact sur la volatilisation comme les conditions climatiques ou l'état du sol mais cela restera limité.



(Projet Casdar lisier frais et méthanisation, 2013)



Keq, késaco ??

Régulièrement utilisé pour l'azote mais aussi le phosphore, c'est un coefficient d'équivalence par rapport à une forme azoté minéral efficace type ammonitrate :

→ un **Keq N de 0,3** indique que, sur 100 U d'azote contenues dans le produit (minérales & organiques), 30 peuvent être assimilées par la plante.

→ Cela **équivalait donc à un apport de 30 U d'N/ha sous forme minérale**.

Ce coefficient peut être différent selon la culture et la période d'application.

Les carences en azote

L'azote est naturellement présent dans tous les sols, mais en quantité insuffisante, si bien que cet élément est, avec l'eau, le principal facteur limitant de la production des cultures autres que légumineuses.

Les symptômes

Globalement pour toutes les cultures, cela apparaît assez tôt dans le cycle, dès que les besoins deviennent plus importants. Sur céréales, cette carence peut se manifester dès le stade début tallage.

On observe un jaunissement (couleur dominante verte clair à jaune) des feuilles âgées à partir de la pointe, puis s'étendant à toute la feuille. Les feuilles âgées finissent par dessécher. Sur céréales le tallage est réduit (régression des talles formées) mais aussi réduction de la fertilité des épis selon le stade où la déficience intervient.



Situations davantage à risques :

- Sols à pH faibles ou élevés
- Sols sableux ou légers (lessivage des sols)
- Faible teneur en matières organiques
- Conditions de sécheresse, fortes précipitations (lessivage des sols) ou irrigation intensive
- Cultures à croissance rapide

