



**HAL**  
open science

## Le cycle de l'azote

Bernard Nicolardot, Jean Claude Germon, Jean-Claude Simon

► **To cite this version:**

Bernard Nicolardot, Jean Claude Germon, Jean-Claude Simon. Le cycle de l'azote. A la pointe de l'élevage bovin, 1990, 224, pp.13-16. <hal-01865852>

**HAL Id: hal-01865852**

**<https://institut-agro-dijon.hal.science/hal-01865852v1>**

Submitted on 2 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# Le cycle de l'azote

B. Nicolardot et J-C. Germon

INRA, Laboratoire de microbiologie des sols, Dijon

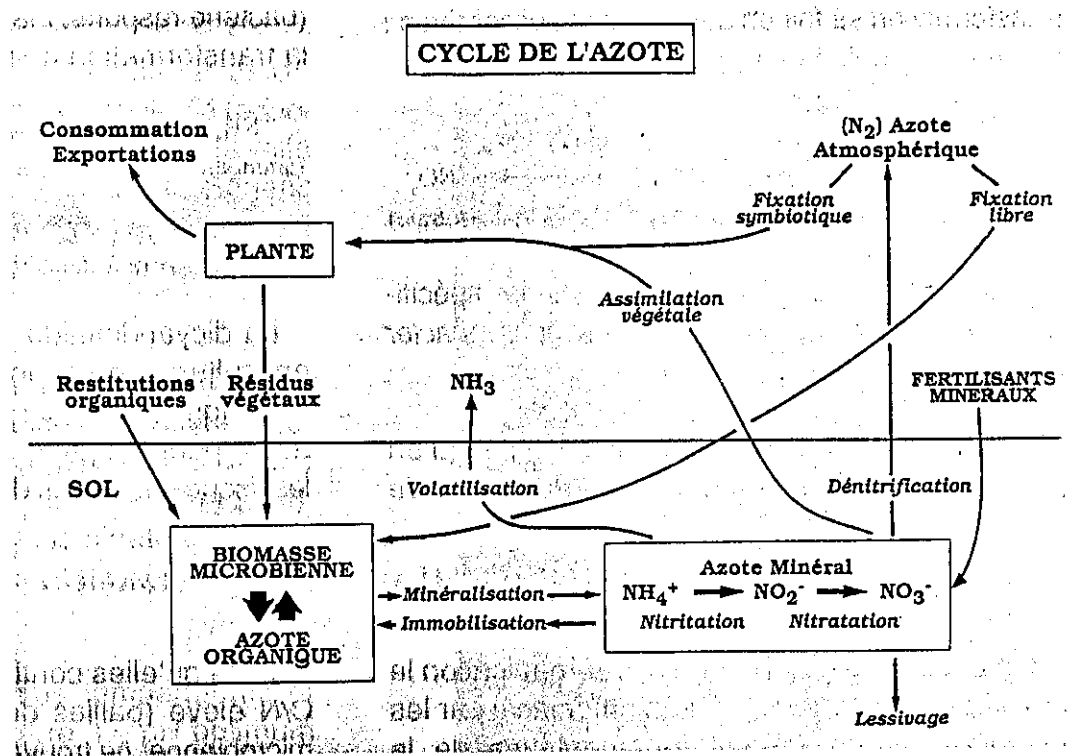
J-C. Simon

INRA, Station d'agronomie, Quimper

Dans le sol, comme dans la plante, l'azote passe par différentes formes : azote organique, ammoniac, ammonium, nitrite, nitrate, azote gazeux.

L'ensemble des transformations qui modifient successivement la forme de l'azote constitue le cycle de l'azote.

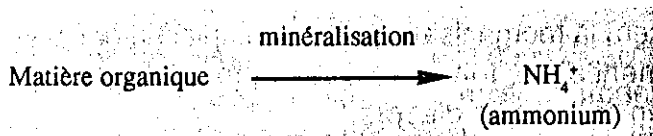
La plupart des transformations que subit l'azote du sol est liée à l'activité de la microflore (biomasse microbienne), la forme nitrique pouvant être considérée comme la plaque tournante d'une grande partie des processus (nitrification, réorganisation, dénitrification, lessivage, assimilation par les plantes).



## Minéralisation de l'azote organique

On appelle minéralisation de l'azote organique, la transformation de l'azote contenu dans la matière organique fraîche (résidus de récolte, amendements organiques) ou humifiée (matière organique du sol) en ammonium.

une humidité du sol voisine de la capacité de rétention. Toutefois, la minéralisation de l'azote peut être très active en sols hydromorphes, où l'azote minéralisé s'accumule sous forme ammoniacale sans être nitrifié.



La microflore responsable de la minéralisation est très diverse et abondante. Si les conditions écologiques favorables sont très diversifiées, on remarque néanmoins que son activité augmente avec la température et qu'elle est optimale pour

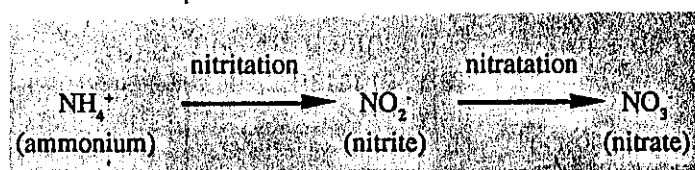
Des alternances climatiques (gel/dégel, sécheresse/réhumectation) favorisent la minéralisation. De même, les pratiques culturales comme le travail du sol, les apports de fertilisants minéraux ou organiques, ou un retournement de prairies la stimulent.

Ainsi, la minéralisation de l'azote organique du sol peut fournir chaque année à la végétation de quelques dizaines de kg à plus de 150 kg N/ha.

De même, les résidus de culture et les déchets d'origine animale libèrent de l'azote minéral dans le milieu. On considère généralement que l'azote total d'un lisier de porc est constitué à plus de 60 % par de l'azote ammoniacal et que la moitié de l'azote organique résiduel sera minéralisé pendant l'année qui suit l'épandage.

### Nitrification

On appelle nitrification le passage de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) en azote nitrique ( $\text{NO}_3^-$ ). Cette transformation se fait en deux étapes successives : la nitritation puis la nitratisation.



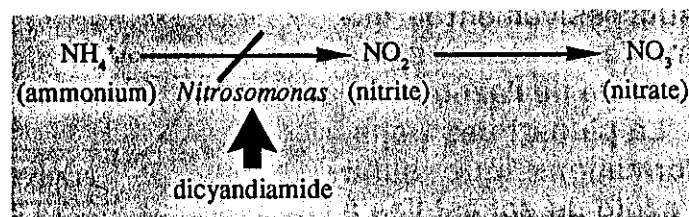
Les deux étapes dépendent de bactéries spécifiques : *Nitrosomonas* pour la première et *Nitrobacter* pour la seconde.

Cette transformation ne peut se faire qu'en présence d'air (aérobie). Si le processus de

nitrification est fortement réduit aux pH très acides (inférieurs à 5), il est optimum pour les pH neutres ou légèrement basiques (6,9 à 9,0). La température optimale de nitrification est comprise entre 28 et 36°C ; de faibles températures la ralentissent.

Certains composés peuvent contrarier temporairement le processus. De fortes teneurs en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ou en nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) le bloquent, tout comme les inhibiteurs de nitrification (N-Serve ou dicyandiamide).

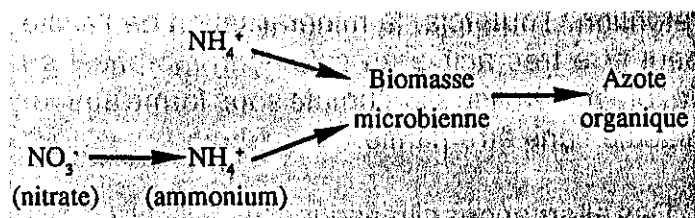
Ces deux produits inhibent le *Nitrosomonas* (bactérie responsable de la nitritation) et empêche la transformation d'ammonium en nitrite.



La dicyandiamide est actuellement proposée en culture après apport d'engrais minéral ou organique (lisier), en période de besoin ralenti en azote pour la plante (avant l'hiver afin de limiter les risques de pertes d'azote nitrique par lessivage).

### Immobilisation - Réorganisation

On appelle immobilisation ou réorganisation le stockage d'azote nitrique ou ammoniacal par les microorganismes du sol (augmentation de la biomasse microbienne). Cette transformation est également réalisée par la plupart des microorganismes du sol.



La réorganisation est un processus simultané à celui de la minéralisation et est liée à la croissance microbienne qui nécessite la présence de carbone et d'azote.

Le bilan entre processus de minéralisation et réorganisation va dépendre de la nature des matières organiques apportées et de la quantité

d'azote qu'elles contiennent. Pour des résidus à C/N élevé (pailles de céréales...), la biomasse microbienne, ne trouvant pas suffisamment d'azote dans les pailles, empruntera de l'azote au milieu (immobilisation nette). A l'inverse pour des résidus à C/N bas (engrais verts, déchets animaux...), l'azote apporté couvrira largement les besoins de la microflore, l'excédent sera alors libéré dans le milieu sous forme ammoniacale (minéralisation nette).

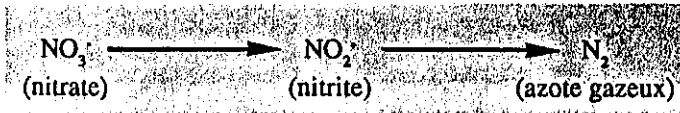
Ainsi, toute opération culturale fournissant du carbone assimilable aux microorganismes, favorisera la réorganisation : par exemple, un enfouissement d'une tonne de paille permet d'immobiliser environ 10 kg d'azote.

Contrairement aux plantes, les microorganismes du sol préfèrent l'azote ammoniacal à l'azote nitrique. Ainsi, si l'on apporte de l'ammonitrate sur un sol, les microorganismes utiliseront tout d'abord l'ammonium avant de prélever l'azote nitrique.

La température module fortement la réorganisation. Cette dernière est plus active à 25°C qu'à 10°C. Par ailleurs, un sol bien aéré est plus favorable que des conditions anaérobies.

## Dénitrification

On appelle dénitrification la transformation de l'azote nitrique en azote gazeux.



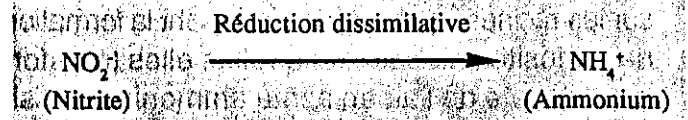
La réduction du nitrate en nitrite ne nécessite pas une microflore spécifique. Par contre la réduction du nitrite en azote gazeux ne peut être faite que par un nombre restreint de genres bactériens (*Pseudomonas*, *Agrobacterium*,...) mais qui sont très répandus (100 000 à 1 000 000 de germes par g sol).

La dénitrification n'est possible qu'en présence d'une source de pouvoir réducteur (matière organique du sol, amendements organiques, soufre,...) et en conditions anaérobies (absence d'oxygène). En effet, dans ces conditions le nitrate est utilisé à la place de l'oxygène pour la respiration des bactéries.

Elle est réduite aux faibles températures et augmente avec la température. Le pH optimum est compris entre 6 et 8. Aux pH faibles, la transformation d'azote moléculaire ( $\text{N}_2$ ) est inhibée et conduit à la formation de protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

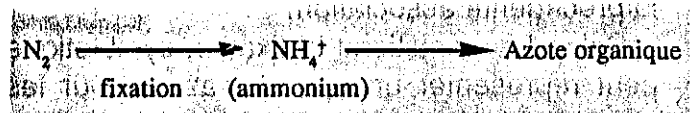
En sols cultivés, bien drainés et en absence d'apport organique extérieur, les pertes d'azote par dénitrification sont généralement comprises entre 10 et 30 kg/ha par an.

Dans les mêmes conditions que la dénitrification (absence d'oxygène, présence de matière organique) certaines bactéries sont capables de réduire le nitrite en ammonium (réduction dissimilative). Cette transformation s'effectue dans les sols mais est de faible importance. Elle est plus importante dans les milieux marécageux ou dans des écosystèmes particuliers (rumen des bovins, boues d'épuration,...).



## Fixation

La fixation est la transformation d'azote moléculaire en azote ammoniacal ; elle est réalisée par des microorganismes très spécifiques.



La quantité d'azote fixée par une culture de pois peut atteindre 50 à 75 kg d'azote/ha.

On distingue deux types de fixation :

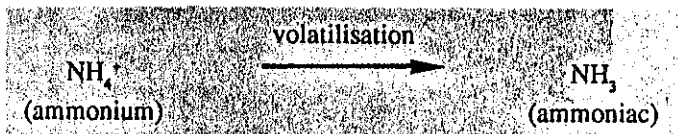
- la fixation libre d'azote qui est effectuée par des bactéries aérobies (*Azotobacter*, *Beijerinckia*) ou par des bactéries anaérobies (*Clostridium*), ou encore par des algues bleues (Cyanophycées). Dans les sols cultivés, les quantités d'azote fixées représentent quelques kg par hectare et par an, mais la fixation peut atteindre quelques dizaines de kg en sol de rizière grâce aux cyanophycées ;
- la fixation symbiotique qui est l'œuvre de deux grands types d'association connus :
  - l'association entre les légumineuses et les bactéries du genre *Rhizobium*. A partir d'infection

sur les racines ces bactéries induisent la formation de nodosités au sein desquelles elles transforment l'azote de l'air en azote ammoniacal assimilable par la plante. Parallèlement, la plante alimente les bactéries en composés carbonés à partir de la photosynthèse (Symbiose) ; l'association entre un actinomycète (champignon microscopique) du genre *Frankia* et différentes plantes et arbres dont l'aulne. Cette association fonctionne selon un mode semblable à celui de la précédente association.

Selon les conditions la fixation symbiotique peut représenter un apport d'azote pour les plantes qui varie de quelques dizaines à plusieurs centaines de kg par hectare et par an.

### Volatilisation

On appelle volatilisation la perte d'azote par voie gazeuse sous forme d'ammoniac.



La volatilisation augmente avec la concentration en ammonium. Elle s'accroît avec la température et la vitesse du vent.

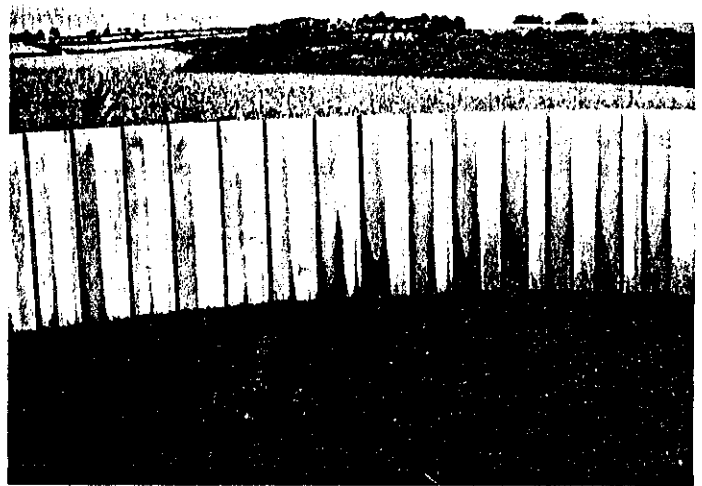
Elle est d'autant forte que le pH est élevé et les risques sont plus importants en sols calcaires. Elle est modulée par la teneur en argile et la capacité d'échange en cations.

Les pertes par volatilisation sont extrêmement variables. Elles dépendent de nombreux facteurs dont les pratiques agronomiques (conditions d'épandage et d'enfouissement).

Par exemple, les pertes par volatilisation en fosse à lisier, sont environ de 30 % à 40 % de l'azote que contiennent les déjections à leur émission par l'animal.

### Lessivage ou lixiviation

On appelle lessivage, l'entraînement d'éléments minéraux du sol vers le sous-sol, sous l'action de la percolation de l'eau. Contrairement à



La volatilisation d'azote est très importante au cours du stockage. Elle est voisine de 30 à 40 % de l'azote contenu dans les déjections lors de leur émission par l'animal.

l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), anion non retenu par le complexe argilo-humique, lessive facilement.

Les principaux résultats concernant le lessivage d'azote dans les conditions pédoclimatiques locales sont présentés dans les articles suivants.



L'orientation et l'intensité des processus de transformation de l'azote dépendent donc de nombreux facteurs que l'on peut regrouper en quatre grands types :

- la disponibilité en carbone (source d'énergie pour les microorganismes à l'origine de ces transformations) ;
- les paramètres écologiques (température, humidité, présence ou absence d'oxygène,...) ;
- le milieu «sol» (caractéristiques physiques, chimiques, biologiques,...) ;
- l'agriculteur, enfin, par les entrées et sorties d'azote de son système (bilan d'azote) ainsi que par les techniques qu'il va mettre en œuvre (maîtrise du bilan).

Le cycle de l'azote dans le sol fait donc intervenir des processus diversifiés (microbiens, physiques, chimiques) sur lesquels il est parfois possible d'exercer une influence. Ces processus sont loin d'être bien maîtrisés, en particulier dans les conditions pédoclimatiques de la Bretagne. La nécessité de prévoir et d'estimer les quantités d'azote disponibles et utilisables par les cultures apparaît de plus en plus prioritaire. Afin de mieux gérer cet élément il faudrait disposer d'outils de diagnostic performants et de méthodes d'ajustement adaptées. En atteignant ces objectifs, il devrait être possible de limiter les pertes (du moins vers les eaux souterraines) et de minimiser les intrants (valorisation de l'azote fourni par le sol, sans oublier celui des déjections animales).