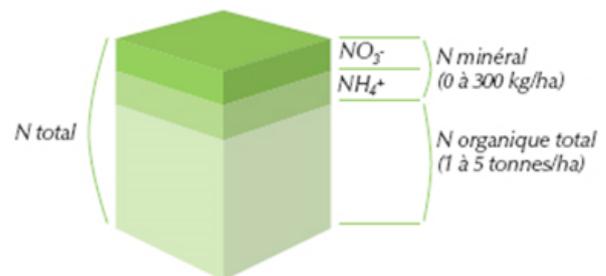


# LA FERTILISATION AZOTÉE, PRINCIPE ET PILOTAGE

## LA FERTILISATION AZOTÉE, LE CYCLE DE L'AZOTE

L'azote est un élément essentiel à la production végétale. Il est très présent sur la surface du globe, notamment dans l'atmosphère sous forme de  $N_2$ . Cependant, seules les formes de l'azote dites réactives (formes minérales oxydées, comme l'azote nitrique  $NO_3^-$  ou réduites, azote ammoniacal  $NH_4^+$ ) peuvent être utilisées par la plupart des organismes vivants. Chez les plantes, seules les légumineuses, grâce à la fixation symbiotique, peuvent accéder à des sources d'azote sous forme non réactive.

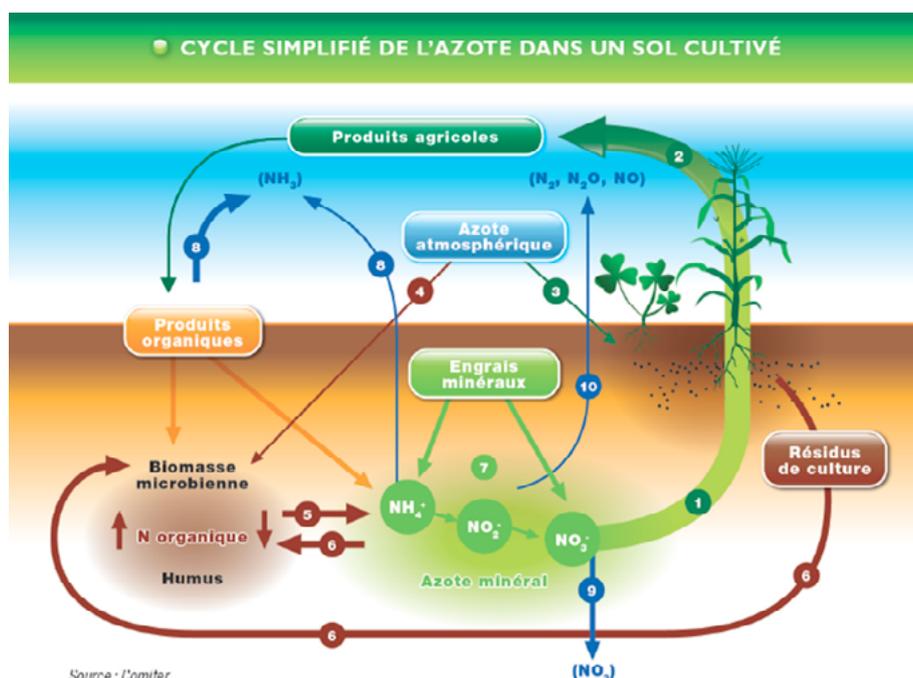
Ainsi, la grande majorité de plantes cultivées accède aux formes d'azote réactives via les apports d'engrais et les fournitures du sol. Un sol cultivé moyen contient environ 2 à 5 tonnes d'azote total par hectare, dans son horizon de surface, 10 pour une prairie naturelle. La majeure partie de cet azote est sous forme organique. Cependant, cette quantité d'azote n'est pas immédiatement disponible pour la plante.



Source du schéma: WikiAuréa

Ce stock d'azote dans le sol varie en fonction des conditions climatiques et des pratiques de l'agriculteur (fertilisation, mise en place de cultures intermédiaires) et son évolution met en jeu différents processus (Figure 1).

**Figure 1 : Cycle de l'azote**



1. Absorption racinaire
2. Exportation par les récoltes
3. Fixation symbiotique
4. Fixation libre
5. Minéralisation
6. Organisation
7. Nitrification
8. Volatilisation

## LA MINÉRALISATION ET L'ORGANISATION DE L'AZOTE DU SOL

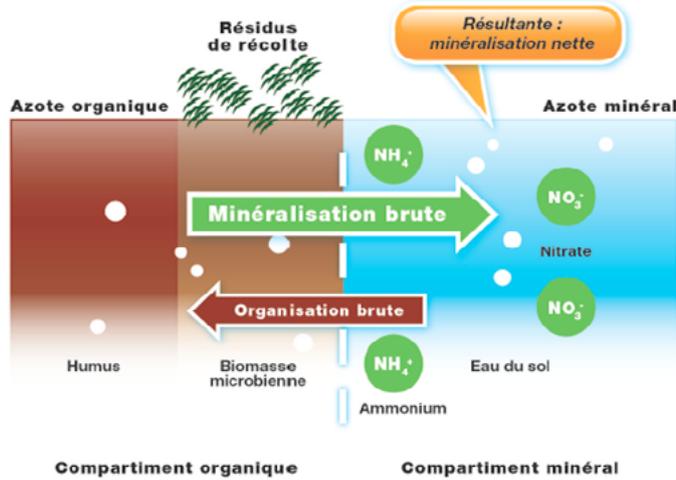
Une grande partie de l'azote absorbé par les cultures provient des fournitures du sol.

Excepté une part d'azote minéral héritée des stratégies de fertilisation de l'année précédente, l'essentiel de l'azote présent dans le sol résulte de la minéralisation de l'azote.

Ce processus est le résultat de la transformation opérée par les micro-organismes du sol de l'azote contenu dans les différents compartiments de la matière organique, notamment dans le compartiment labile, appelé « humus ».

Le processus inverse de la minéralisation est l'organisation. Les micro-organismes absorbent de préférence les formes d'azote minéral, plus réactives. L'activité et la présence de ces micro-organismes est très dépendante des teneurs en carbone du sol. En effet, le rapport C/N des micro-organismes du sol est compris entre 6 et 10. Donc si le rapport C/N du sol est élevé, les organismes prélèveront de l'azote minéral du sol, en soutirant donc aux plantes cet azote minéral.

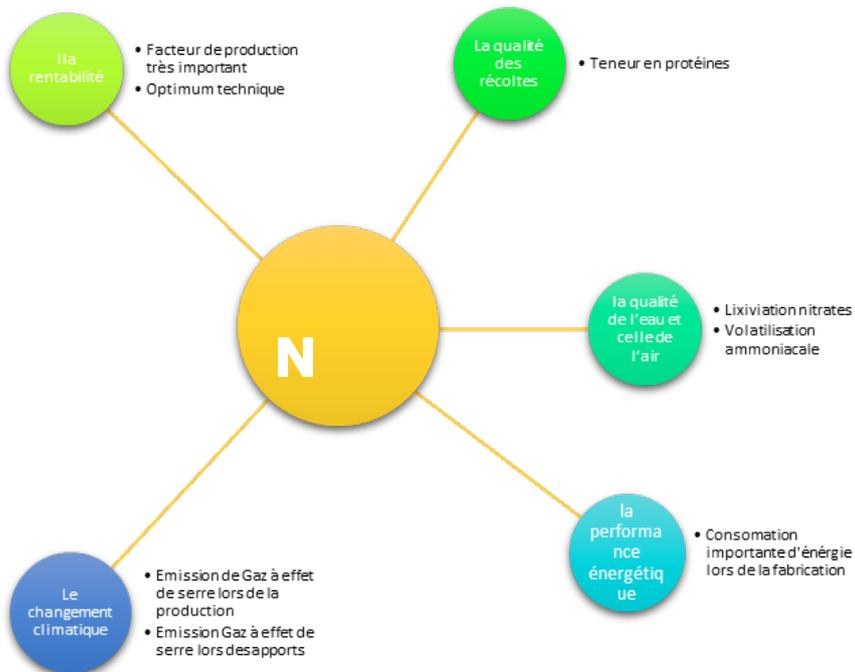
## PROCESSUS DE MINÉRALISATION ET D'ORGANISATION



Source : ARVALIS - Institut du végétal

Processus de minéralisation et d'organisation suite à l'enfouissement de résidus de récolte à C/N suffisamment bas pour générer un flux de minéralisation nette de l'azote organique.

## LES ENJEUX DE LA FERTILISATION AZOTÉE



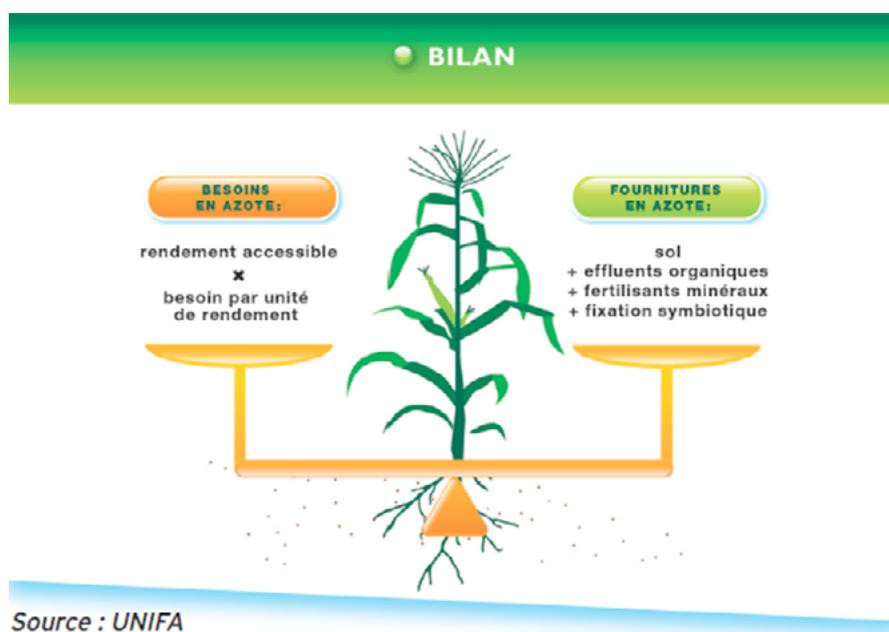
## LA FERTILISATION AZOTÉE : GÉRER ET DÉCIDER À L'ÉCHELLE DE CHAQUE PARCELLE

La culture, le contexte climatique, le type de sol et les pratiques culturales sur la culture précédente sont des paramètres importants dans le raisonnement du calcul de la dose d'azote à apporter. Ainsi, des outils régionalisés ont été mis en place pour prendre en compte les multiples combinaisons de ces facteurs.

En France, le raisonnement de fertilisation azotée repose sur la méthode du bilan prévisionnel de l'azote. La méthode a été initialement développée par Hébert en 1969 puis Rémy-Hébert en 1974. Elle s'est progressivement répandue en France comme la méthode de raisonnement de la fertilisation azotée des cultures pour mettre en œuvre la directive européenne sur la gestion des nitrates (91/676/CEE). De nombreux travaux lui ont été consacrés en vue d'améliorer et mettre à jour son paramétrage. Le COMIFER (Comité Français d'Étude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée) assure le maintien et la mise à jour de la méthode.

La méthode du bilan estime les besoins en azote et les ressources entre deux dates : le semis de la culture (ou la fin d'hiver, période de mesure du reliquat d'azote dans le sol pour les cultures d'automne) et la récolte (ou la fin de la période d'absorption pour certaines cultures).

La mesure du reliquat d'azote permet de quantifier l'azote minéral (nitrique et ammoniacal) disponibles dans le sol, pour la culture, à l'ouverture du bilan. L'analyse de ce reliquat est le point de départ pour raisonner les apports en engrais azotés sur la culture.



La méthode du bilan permet donc de calculer une dose totale prévisionnelle. Cependant, ce calcul ne tient pas compte du fait que le potentiel de la culture évolue en fonction des conditions climatiques de l'année et des stress biotiques. Ainsi, la dose totale prévisionnelle sera potentiellement sous-estimée ou surestimée. De plus, fractionner les apports d'azote augmente l'efficacité de l'azote apporté, en réduisant les pertes par organisation, lixiviation ou par volatilisation.

Un outil de pilotage permet de prendre en compte l'azote absorbé au cours de la croissance et d'évaluer l'état de nutrition azoté de la culture à un instant  $t$  dans le but d'ajuster la dose totale à apporter. Ainsi, le raisonnement de la dose totale prévisionnelle couplé au fractionnement des apports à l'aide d'un outil de pilotage permet d'augmenter l'efficacité des engrais.



Les outils disponibles aident donc à calculer la dose totale, à choisir les doses, les stades et les périodes pour le fractionnement.

Calcul de la dose totale : pour la mise en œuvre de la directive nitrates, des Groupe Régionaux d'Experts Nitrates développent et mettent à jour les références pour le calcul de la dose totale avec la méthode du bilan prévisionnel.

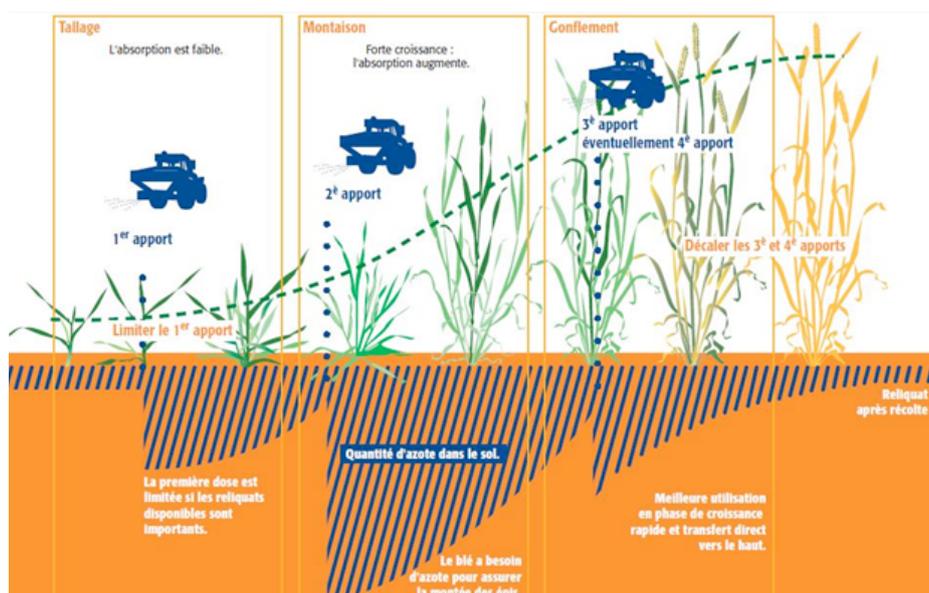
Ces références sont publiées sur le site internet des DRAAF régionales. De plus, de nombreux logiciels pour calculer la dose totale existent. Une liste exhaustive, conforme à la méthode et aux références du COMIFER, est consultable au lien suivant : <https://comifer.asso.fr/fr/bilan-azote/labellisation-des-outils-de-calcul-de-dose/outils-labellise.html>

### - *Le fractionnement :*

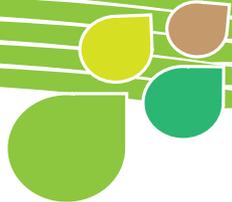
En grandes cultures, le fractionnement des apports d'engrais azoté est fortement conseillé. Il répond à trois objectifs :

1. Mettre à disposition l'azote des engrais pendant les périodes de croissance active du couvert ou de sensibilité de la culture aux carences.
2. Minimiser les risques de pertes d'azote par voie gazeuse ou par lixiviation liés aux conditions climatiques (excès d'eau, sécheresse, température élevée, vent).
3. Favoriser l'efficacité de valorisation de l'azote (par exemple pour augmenter la teneur en protéine des grains).

En zone vulnérable, le fractionnement est souvent obligatoire pour limiter les pertes dans l'environnement. Cette stratégie se raisonne en fonction de la culture en place. Par exemple en blé, on préconisera 3 voire 4 apports aux stades tallage, montaison et gonflement.



Apporter l'azote au plus proche des besoins du blé. © ARVALIS - Institut du végétal. Arvalis-infos.fr.



## - Le pilotage de la fertilisation des céréales :

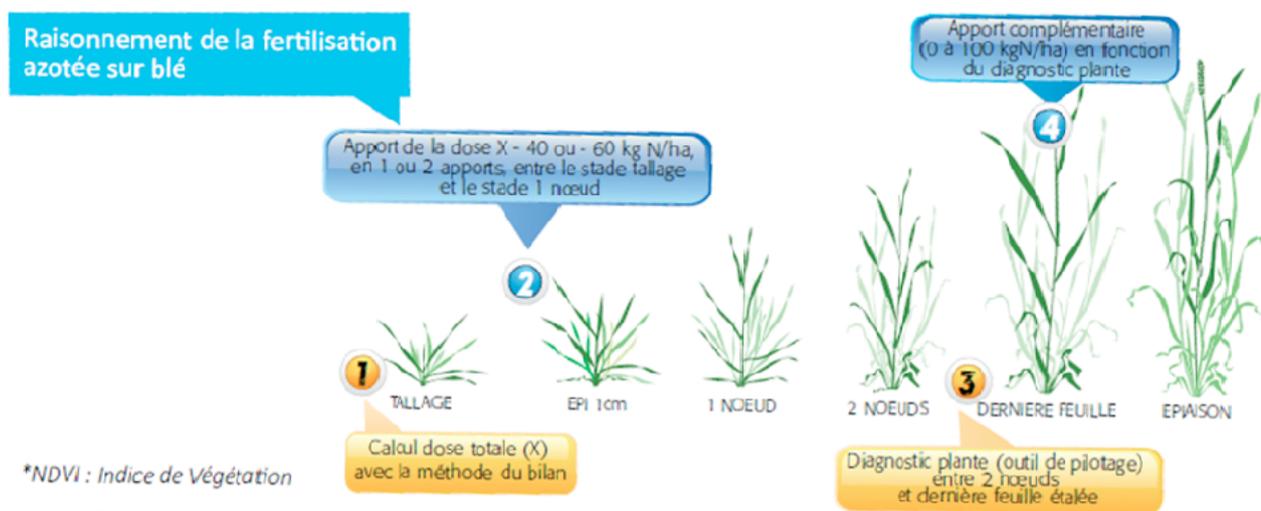
Le pilotage consiste à réévaluer la dose totale prévisionnelle grâce à un suivi du statut de nutrition azotée et/ou de la biomasse de la plante au cours de son cycle. Pour les céréales, il repose sur la mise en réserve d'une partie de la dose totale calculée avec la méthode du bilan et ensuite sur le diagnostic de la quantité de biomasse et de la teneur en azote des plantes en début de montaison.

L'estimation de la teneur en azote des plantes peut se faire par différents moyens :

- Mesure de la teneur en azote du jus de bas de tige,
- Mesure de la teneur en chlorophylle de la plante par des capteurs sur différents vecteurs (piéton, satellite, avion, drone ou embarqué sur un engin agricole).

La mesure de biomasse peut être réalisée par prélèvement puis pesée. Elle peut également être estimée par modélisation sur la base d'images.

Les variables « quantité de biomasse » et « teneur en azote des parties aériennes » permettent de calculer la quantité d'azote restante à apporter pour atteindre un statut azoté satisfaisant. Cette quantité peut être inférieure ou supérieure à la quantité d'azote mise en réserve.

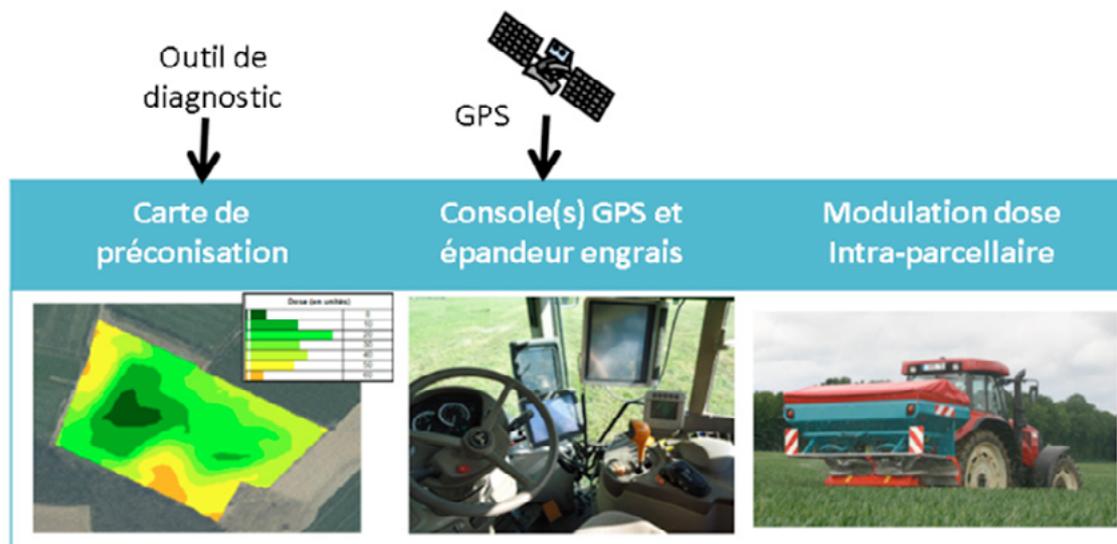


Les vrai-faux de la fertilisation azotée du blé © ARVALIS - Institut du végétal - Janvier 2017

La modulation de dose intra-parcellaire est un moyen complémentaire au pilotage qui consiste à apporter des doses différentes à l'intérieur d'une parcelle en fonction des hétérogénéités observées (sol plus ou moins fourni, problème de levée, ravageurs...).

Attention, les outils qui mesurent seulement un indice de végétation (comme par exemple l'indice de végétation NDVI) permettent de faire de la modulation, mais pas de diagnostic de nutrition azotée. Le pilotage de la fertilisation azotée passe nécessairement par le diagnostic azote et peut, pour certains outils, proposer de la modulation.

## La modulation automatique : comment ça marche ?



Principe de la modulation de dose automatique. © ARVALIS - Institut du végétal. Arvalis-infos.fr

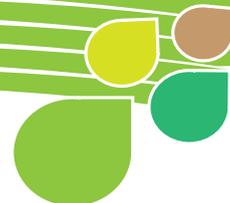
- En mode automatique, la console de l'épandeur lit la carte de modulation. En fonction de son positionnement dans la parcelle, elle envoie l'information à l'épandeur pour le réglage du débit.
- La modulation manuelle est également possible sur les parcelles où on peut distinguer des grandes zones avec des préconisations de doses différentes.

Quel avenir pour le pilotage de la fertilisation azotée ?

Des travaux sont en cours pour piloter la fertilisation azotée des cultures de manière dynamique, sur la base de modèles de plante et de bilans journaliers des flux d'azote dans les compartiments eau/sol/plante. Ces modèles pourraient intégrer, en temps réel, des mesures au champ permettant d'estimer biomasse et teneur en azote tout au long du cycle de la culture.

## LES FORMES D'ENGRAIS AZOTÉS MINÉRAUX

Plusieurs formes d'engrais azotés sont disponibles sur le marché français. Parmi les formes « traditionnelles » que sont l'ammonitrate, l'urée et la solution azotée, l'ammonitrate est celle qui est la moins sensible aux pertes par volatilisation et qui présente la meilleure efficacité. Des formes d'engrais azotés, formulées avec des additifs ont été mises sur le marché avec l'ambition de réduire les pertes par volatilisation. Par exemple, les urées additionnées d'un inhibiteur d'uréase présentent des performances proches de l'ammonitrate.



***Pour aller plus loin :***

*[Table des exportations COMIFER](#)*

*[Prise en compte de la volatilisation des engrais minéraux](#)*

*[Décid-org, outil de prévision de l'efficacité de l'azote organique pour décider de fertiliser ou non le blé biologique au printemps](#)*

*[Perspectives Agricoles 398: azote du sol, minéralisation](#)*

*[Éléments de décision pour une fertilisation raisonnée en azote sur les cultures fruitières et légumières](#)*

*[Calcul de la fertilisation azotée: Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales](#)*

*[Teneurs en N des organes végétaux récoltes méthode d'établissement et valeurs de référence](#)*

*[TENEURS EN AZOTE DES ORGANES VÉGÉTAUX RÉCOLTES pour les cultures de plein champ, les principaux fourrages et la vigne TABLEAU DE REFERENCE 2013](#)*

*[AgriBio\\_FICHE, Gérer la fourniture d'azote sur le long terme.pdf](#)*

*[AgriBio\\_FICHE, optimiser l'azote en agriculture biologique.pdf](#)*

*[Gestion de l'azote en grande culture bio](#)*

*[Apporter de l'azote avec de la luzerne](#)*

*[Disponibilité de l'azote, effets des précédentes légumineuses de culture intermédiaire et d'engrais organique](#)*

**FERTISOLS.FR**