

Pratiques culturales et fertilité chimique du sol

Quel est l'effet des apports d'engrais azotés sur la fourniture d'azote par le sol ?

La fertilité chimique d'un sol peut se définir comme sa capacité à fournir les éléments minéraux nécessaires à la croissance des plantes cultivées. Pour l'azote, les formes minérales proviennent soit de la minéralisation des résidus de culture et de l'humus, soit des engrais minéraux ou des produits résiduaux organiques (PRO). Les pratiques de fertilisation azotée influencent-elles les fournitures d'azote par le sol ? Quelques essais français et internationaux illustrent cette relation à plus ou moins long terme.



La fourniture d'azote par minéralisation de l'humus est une des composantes de la fertilité chimique d'un sol.

Avant l'apparition des engrais de synthèse, l'azote était essentiellement apporté aux cultures par les fumiers et par la présence de légumineuses dans les rotations. Le XIX^e siècle a vu l'apparition des premières surfaces fertilisées avec des engrais, notamment avec l'emploi du nitrate de Chili. Les surfaces concernées sont néanmoins restées modestes.

Un peu d'histoire

Le procédé Haber-Bosh permettant la synthèse de l'ammoniac à partir du diazote atmosphérique (N_2) et du dihydrogène (H_2) présent dans du gaz naturel, a constitué une découverte majeure pour l'agriculture au début du XX^e siècle. Ce procédé est à la base de la production des engrais azotés de synthèse. À partir des années 1950, leur emploi s'est généralisé dans l'agriculture des pays développés et a permis un accroissement sans précédent de la production de céréales. Les progrès conjoints de la sélection variétale et de la protection des cultures (introduction des herbicides dans les années 1950 puis des fongicides dans les années 1970) ont grandement amélioré l'efficacité de l'azote au fil des décennies.

Comme le montrent les résultats de la *figure 1* (issus de l'expéri-

mentation de très longue durée de Broadbalk/Rothamsted au Royaume-Uni), un même apport de 144 kg N/ha permet d'assurer une production deux fois plus importante de nos jours par rapport au système de production du XIX^e siècle. Ainsi, grâce aux progrès technologiques, l'efficacité de l'azote s'est grandement améliorée, ce qui n'exclut pas de devoir parfois apporter des quantités importantes d'engrais pour valoriser le potentiel du milieu. L'usage des engrais azotés a-t-il influencé la fertilité des sols et, en particulier, leur aptitude à fournir de l'azote aux cultures ?

Pas d'effet à court terme

À l'échelle d'une campagne culturale, il n'y a pas d'interaction entre la quantité d'azote apporté par l'engrais et la fourniture d'azote aux cultures par la minéralisation de l'humus. La *figure 2* en montre un exemple issu d'une expérimentation sur pomme de terre. On y observe que les courbes d'absorption de l'azote total (sol + engrais) et de l'azote provenant uniquement de l'engrais sont parallèles.



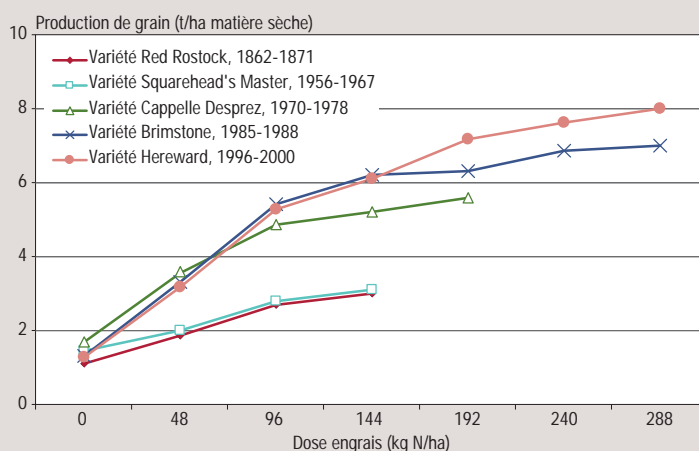
© M. Moque, ARVALIS-Institut du végétal

Ce fait traduit l'indépendance entre la fourniture d'azote par le sol et la dose d'engrais apportée et valide le postulat de base sur lequel se fonde la méthode du bilan de masse additif pour le calcul de la dose d'azote (Comifer, 2011). Mais qu'en est-il de l'effet cumulatif des régimes de fertilisation azotée à l'échelle de la décennie ?

L'azote est une clé de la durabilité des systèmes. Il intervient dans les rendements d'aujourd'hui et la fertilité des sols de demain.

Une expérimentation sur un sol de craie à Thibie (51 – sources : Arep) a montré que la quantité d'azote minéralisé issue de l'humus dans un sol nu pendant un an n'était pas statistiquement différente (7 kg N/ha...) selon que la succession des cultures blé/betterave/pois ait reçu pendant 12 ans la dose optimale d'azote ou une dose réduite de 35 %.

Figure 1 : Effet des doses croissantes d'azote sur la production du blé tendre d'hiver dans l'essai de très longue durée de Broadbalk à Rothamsted (Royaume-Uni)



Sources : adapté de Johnston A.E. et Poulton P.R., 2009, *Nitrogen in agriculture: an overview and definitions of nitrogen use efficiency. Proceedings 651, International Fertiliser Society, York, UK. 1-48.*

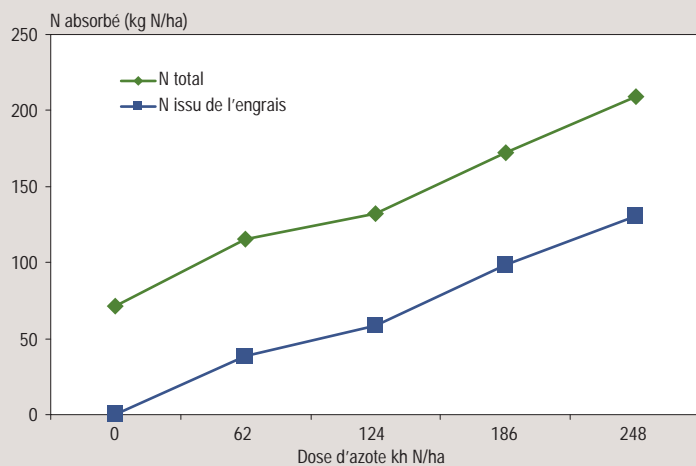
Chaque courbe représente la réponse en terme de rendement à des doses croissantes d'apports d'engrais azotés selon l'époque de l'essai et la variété implantée à ce moment là.

Les effets des pratiques de fertilisation azotée sur les fournitures du sol sont peu marqués à l'échelle d'une décennie.

Les premières différences à moyen terme

Une expérimentation de longue durée a été réalisée sur un sol sablo limoneux à Rønhave, au Danemark, en monoculture de blé de 1972 à 1998. Elle donne une illustration de l'effet du régime de fertilisation azotée sur le moyen terme (*figure 3*). Le blé a reçu pendant 26 ans trois régimes de fertilisation azotée : un niveau considéré comme optimal, 0,7 et 1,3 fois ce niveau. À l'issue de l'essai, des courbes de réponses à des doses croissantes d'engrais azotés

Figure 2: Quantités d'azote (totale et provenant de l'engrais) absorbé par la pomme de terre (fanés + tubercules) suite à des apports croissants d'engrais azotés dans l'essai ITPT Saint-Rémy l'Honoré en 1992



Quelle que soit la dose d'engrais apportée, la pomme de terre absorbe la même quantité d'azote fournie par le sol.

ont été réalisées pour chacun des anciens régimes de fertilisation. Bien que ceux-ci n'aient pas modifié de façon significative la quantité d'azote organique dans le sol, ils ont engendré des fournitures d'azote au blé d'autant plus élevées que le régime de fertilisation passé était élevé (figure 3).

À (très) long terme

Rares sont les dispositifs expérimentaux dans lesquels des régimes de fertilisation azotée différents ont été appliqués pendant une très longue période. Ce fut le cas dans le dispositif de Broadbalk en Angleterre, sur un sol limono-argileux, dans lequel quatre régimes différents de fertilisation azotée (0, 48, 96 et 144 kg N/ha) ont été appliqués pendant plus d'une centaine d'années sur une monoculture de blé. Après cette très longue période de différenciation, la quantité d'azote total dans le sol et sa vitesse de minéralisation ont été mesurées (figure 4). Il en ressort que :

- la quantité d'azote total dans la couche 0-23 cm a été augmentée par les régimes croissants de fertilisation azotée ;
- la vitesse de minéralisation de l'azote organique, mesurée par incu-

bation au laboratoire, était d'autant plus élevée que le régime de fertilisation correspondant était élevé. Cet accroissement de la vitesse de minéralisation de l'azote était proportionnellement plus important que celui de la quantité d'azote dans le sol ;

- la fourniture d'azote par le sol à la culture de blé a également été augmentée par les régimes croissants de fertilisation azotée.

À long terme, la fertilité chimique d'un sol est étroitement liée à son passé de fertilisation.

Que retenir de ces études ?

Les résultats de quelques études présentés ci-dessus illustrent des faits observés dans bien d'autres travaux.

Selon l'historique de fertilisation des 26 dernières années (dose optimale [1], réduite de 30 % [0,7] ou majorée de 30 % [1,3]), les fournitures d'azote par le sol sont différentes.

Les gains de rendements permis par la fertilisation azotée augmentent les restitutions de résidus au sol et, par conséquent, les quantités d'azote minéralisable.

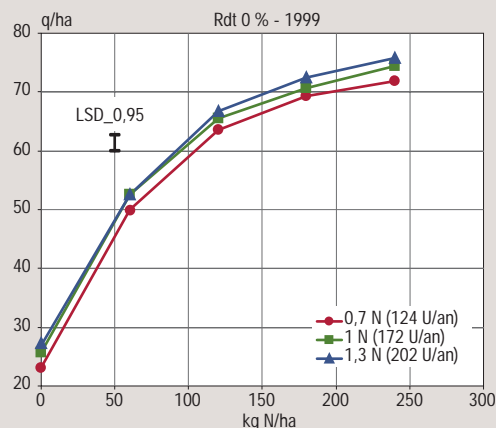


© ARVALIS - Institut du végétal

À court terme, les modifications des états de l'azote dans le sol par des régimes différents de fertilisation azotée sont faibles et ne se traduisent pas par des modifications significatives de fourniture d'azote par le sol aux cultures.

À moyen et long terme, la quantité d'azote total - et encore plus sa fraction labile, susceptible d'être minéralisée - augmente avec le

Figure 3: Effets d'apports croissants d'engrais azoté sur la production d'un blé en monoculture après 26 ans de différenciation de trois régimes de fertilisation à Rønhave au Danemark



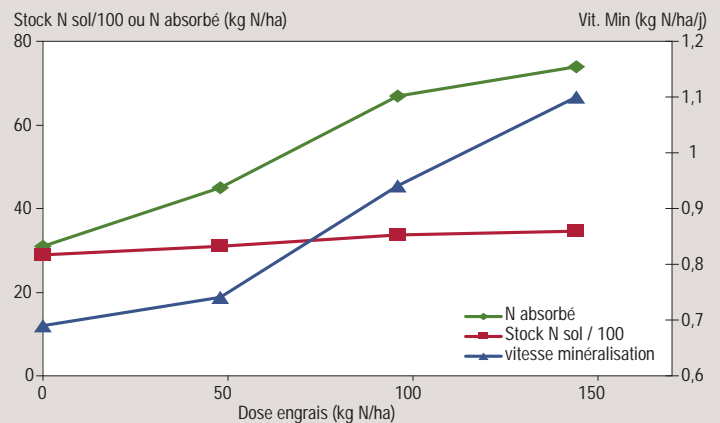
Sources : Thomsen I.K., Djurhuus J., Christensen B.T., 2003. Long continued applications of N fertilizer to cereals on sandy loam: grain and straw response to residual N. Soil Use and Management, 19, 57-64.



niveau de fertilisation appliqué. Ce phénomène s'explique par l'augmentation de la quantité permise par l'azote de résidus végétaux restitués au sol (racines et exsudats compris). L'humification de ceux-ci contribue à accroître le stock d'azote et de carbone organique dans le sol et, proportionnellement, encore plus leur fraction facilement minéralisable.



Figure 4 : Effets de régimes de fertilisation azotée différenciés pendant plus de 100 ans dans le dispositif expérimental de Broadbalk en Angleterre, sur les fournitures d'azote par le sol à la monoculture de blé



Sources : Glendining M.J., Powelson D.S., Poulton P.R., Bradbury N.J., Palazzo D., Li X., 2003. The effects of long-term applications of inorganic nitrogen fertilizer on soil nitrogen in the Broadbalk wheat experiment. *Journal of Agricultural Science*, 127, 347-363.

Après un siècle de différenciation, la vitesse de minéralisation de l'azote organique et les fournitures d'azote par le sol sont d'autant plus élevées que le régime de fertilisation azoté a été important.

Le dispositif expérimental de Thibie, dans la Marne, a mesuré l'impact de différents régimes de fertilisation d'une rotation blé/betterave/pois pendant plus de 10 ans.

Quelle conclusion sur la durabilité des systèmes de cultures ?

Comme pour tout facteur de production, des apports d'engrais azotés insuffisants, non compensés par d'autres formes d'apport (fixation symbiotique par les légumineuses ou apports de produits résiduels organiques par exemple), entraîne une diminution de production agricole et, donc, une baisse des restitutions d'azote organique au sol. Celle-ci se traduit à long terme par une baisse des fournitures d'azote par le sol aux cultures. Ainsi, en terme de nutrition des cultures, l'utilisation correcte des engrais azotés présente un double impact : permettre la production de culture implantée et contribuer à l'entretien de la fourniture d'azote par le sol. ■

Jean-Pierre Cohan

jp.cohan@arvalisinstitutduvegetal.fr

Pierre Castillon

p.castillon@arvalisinstitutduvegetal.fr

ARVALIS-Institut du végétal