

## Leviers agronomiques pour améliorer l'autonomie en azote à l'échelle des exploitations agricoles

Sylvain PELLERIN, INRAE

UMR 1391 ISPA "Interactions Sol-Plante-Atmosphère", Centre INRAE de Bordeaux Nouvelle-Aquitaine, 71 Avenue Edouard Bourlaux, CS 20032, 33883 Villenave d'Ornon Cédex, France ; sylvain.pellerin@inrae.fr



Sylvain PELLERIN est Directeur de Recherches à l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE). Il a travaillé sur la biodisponibilité du phosphore (P) dans les sols et la modélisation de son prélèvement par le système racinaire des plantes. Ses recherches se sont ensuite élargies à l'étude du cycle du P dans les systèmes agricoles, à plusieurs échelles spatiales emboîtées, de la parcelle au territoire. Ses travaux actuels portent sur les liens entre l'activité agricole et les cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote et du phosphore, aux échelles spatiales larges, jusqu'à l'échelle globale. Il est l'auteur de 110 publications scientifiques dans des journaux internationaux à comité de lecture. Il est chef adjoint du département AgroEcoSystem d'INRAE, et co-animateur d'un grand programme transversal sur l'adaptation de l'agriculture au changement climatique et sa contribution à l'atténuation.

L'azote est un élément indispensable à la croissance des plantes, entrant dans la composition des protéines. Certaines formes d'azote sont aussi des polluants, comme l'ion nitrate qui réduit la potabilité de l'eau ou l'ammoniac qui dégrade la qualité de l'air. En France l'usage des engrais azotés a fortement augmenté depuis les années 1950 jusqu'aux années 1990, avec à la clé une augmentation des rendements mais aussi des impacts sur l'environnement. Parallèlement, les enjeux qui ont orienté les recherches conduites sur cet élément ont fortement évolué. Dans les années 1960-1970, l'enjeu était de déterminer les doses optimales à apporter pour que la disponibilité en azote ne limite pas le rendement, dans un contexte où l'objectif prioritaire était de produire. Dans les années 1980-1990 les premières alertes sur l'altération de la potabilité de l'eau par les nitrates et l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques ont fortement orienté le système de Recherche-Développement vers la limitation des pertes d'azote vers l'eau. Dans les années 2000-2010 les problèmes de qualité de l'air liés à la volatilisation ammoniacale puis la mise en évidence de la contribution du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) aux émissions de gaz à effet de serre ont en partie réorienté les efforts vers la limitation des pertes gazeuses. Le concept de cascade de l'azote (Galloway et al., 2003) a cependant montré les limites d'une stratégie de limitation des fuites ciblée sur certains postes de perte en particulier, et à l'inverse l'intérêt d'une stratégie fondée sur une limitation en amont de l'usage des fertilisants.

Les préoccupations liées à l'autonomie des exploitations agricoles vis-à-vis de la ressource en azote sont plus récentes, sans pour autant avoir été absentes des travaux antérieurs, très orientés sur la limitation des fuites. La crise Covid, et plus récemment la guerre en Ukraine, ont remis à l'ordre du jour les préoccupations d'autonomie et de souveraineté alimentaire. Du fait de l'usage d'engrais azotés, l'agriculture française est vulnérable à ce qui peut affecter la fabrication, la distribution et le prix des engrais azotés, la disponibilité en énergie et en gaz fossile notamment. Dans un article récent, Pinsard et Accatino (2023) ont montré qu'une réduction progressive sur 30 ans de la disponibilité en engrais azoté et en aliments protéiques importés réduirait la production agricole française de 68%, les systèmes les plus spécialisés étant les plus vulnérables à court terme. Ces travaux confirment les conclusions de Barbiéri et al (2021) obtenues à l'échelle mondiale.

Trois grandes catégories de leviers sont mobilisables pour réduire la dépendance aux engrais et accroître l'autonomie des exploitations agricoles vis-à-vis de la ressource en azote :



1. **Favoriser l'entrée d'azote par les espèces fixatrices.** Ces espèces, parmi lesquelles on trouve plusieurs légumineuses cultivées (pois, féverole, soja, luzerne...), ont la particularité d'héberger dans des nodules fixés à leurs racines des bactéries (rhizobiums) ayant la capacité de réduire le diazote de l'air en ammoniac. L'azote ainsi fixé est ensuite associé à un squelette carboné et transféré vers la plante pour la synthèse des protéines. Ces espèces n'ont pas besoin d'apport d'azote par des engrais, et l'azote fixé peut bénéficier aux cultures suivantes de la succession. En France les surfaces en légumineuses ont diminué depuis les années 1990, et près de 50% des protéines nécessaires à l'alimentation animale sont aujourd'hui importées (soja principalement). Accroître la part des espèces fixatrices d'azote dans les successions est donc un levier mobilisable pour réduire la dépendance aux engrais, améliorer l'autonomie protéique des élevages, et réintroduire de la diversité dans les rotations.
2. **Recycler.** Les animaux d'élevage rejettent dans leurs effluents une part importante de l'azote qu'ils ingèrent (de l'ordre de 70% pour une vache laitière). A condition d'être bien utilisé, cet azote est aussi efficace que l'azote des engrais minéraux pour satisfaire les besoins de la plante. L'observation des pratiques montre cependant que la fourniture d'azote par les effluents d'élevage est souvent sous-estimée par les agriculteurs, conduisant à des apports d'azote minéral de complément au-delà de ce qui serait nécessaire. Les limites au recyclage sont (i) la ségrégation géographique entre les régions d'élevage et de grande culture, (ii) la variabilité et l'incertitude sur la composition des effluents et (iii) le rapport N/P des effluents d'élevage, généralement plus faible que celui des plantes, ce qui fait qu'une fertilisation organique raisonnée sur N conduit à des apports de P excédentaires.
3. **Réduire les pertes.** Hormis le diazote gazeux ( $N_2$ ) très stable les autres formes d'azote, dites réactives, se transforment et/ou se déplacent facilement dans l'environnement. Il en résulte que le cycle de l'azote dans les systèmes agricoles donne lieu à des pertes importantes (lixiviation des nitrates et volatilisation ammoniacale). Le système de recherche-développement a identifié divers leviers pour minimiser ces pertes, parmi lesquels l'ajustement des apports aux stricts besoins des cultures, le calcul du bilan prévisionnel azoté, le fractionnement des apports, l'enfouissement. Au niveau réglementaire, les cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN), qui soustraient l'azote du sol au risque de lixiviation par immobilisation, ont été rendues obligatoires (sauf dérogation) dans les zones vulnérables nitrates de l'Union Européenne. Des calculs de bilan montrent cependant que les pertes restent importantes, et les indicateurs de qualité des masses d'eau vis-à-vis de leur teneur en azote s'améliorent peu. L'effort de réduction des pertes reste donc d'actualité, à la fois pour limiter les impacts environnementaux et réduire la dépendance aux engrais.

L'objectif de cette communication sera d'explorer les progrès qui ont été faits relativement à ces trois leviers, d'identifier les marges de manœuvre qui subsistent et de repérer les freins à leur mise en œuvre. Les leviers techniques à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation agricole sont travaillés de longue date, mais les progrès des connaissances sur le cycle de l'azote et ses interconnexions avec d'autres enjeux permettent aujourd'hui d'explorer des leviers plus systémiques dans le cadre du système agri-alimentaire global.

BARBIERI, P., PELLERIN, S., SMITH, L., RAMANKUTTY, N., SEUFERT, V., NESME, T. 2021. Global option space of organic agriculture is delimited by nitrogen availability. *Nature Food* 2, 5, 363 DOI10.1038/s43016-021-00276-y

PINSARD, C., ACCATINO F., 2022. European agriculture's robustness to input supply declines: A French case study. *Environmental and Sustainability indicators* 17, 100219 DOI10.1016/j.indic.2022.100219

