

La séance de ce mercredi 19 novembre, à l'Académie d'Agriculture de France, était dédiée à un sujet majeur en agriculture, à savoir un meilleur calibrage de la nutrition azotée pour optimiser la croissance et la productivité végétale d'une part, et réduire la lixiviation du nitrate à l'origine de l'eutrophisation des eaux et l'émission de N₂O dans l'atmosphère, puissant gaz à effet de serre. Par ailleurs, la production des engrais azotés, à partir de l'azote de l'air nécessite énormément d'énergie, parfois du charbon d'origine fossile comme c'est encore le cas en Chine et génère donc d'importantes émissions de CO₂. C'est autour de cet ensemble de questions concernant les engrais azotés, à l'échelle mondiale et française, qu'un groupe de travail de l'Académie d'agriculture de France – initié par la section X, économie et politique - s'est concentré depuis les 18 derniers mois. Ce groupe animé par Joël Lorgeoux (S1, Productions végétales) et Gilles Lemaire (S5, Interactions milieux – êtres vivants), a abouti à l'organisation de cette séance pour laquelle les intervenants, membres de l'Académie (Jean-Marie Séronie, SX Economie et Politique, Marie-Hélène Jeuffroy et Philippe Gate S1 étaient également membres du groupe de travail.

Jean-Marie Séronie a introduit le contexte, posant les enjeux liés à l'économie, aux aspects énergétiques, aux questions géopolitiques dont l'interdépendance mondiale aux engrais azotés. Quatre points majeurs ont été abordés :

- Evolution des rendements et des apports de N sur les principales cultures,
- Les émissions de N à partir des systèmes de culture
- Le coût des engrais
- Les contraintes réglementaires et enjeux commerciaux.

La réactivité des producteurs au prix des engrais (les engrais N, P et K étant globalisés dans cette analyse) a été soulignée avec des effets d'anticipation des industriels sur les volumes disponibles.

Gilles Lemaire a présenté les nouvelles connaissances acquises par la recherche sur les mécanismes qui régulent les flux azotés dans le système plante-sol-microorganismes et qui contribuent à la nutrition azotée des cultures.

Il a insisté sur : *Le couplage et la régulation des cycles de N et de C par les microorganismes et par la plante*. Le premier aspect concerne le rôle des microorganismes hétérotrophes du sol dans le couplage entre les cycles de C et de N . Le deuxième aspect concerne le couplage entre les plantes et les communautés microbiennes du sol qui s'effectue principalement par les flux de C racinaires (rhizodépôts). La plante est donc un acteur de la disponibilité de N dans le sol.

La co-régulation de l'absorption de N par l'offre en N minéral du sol et par la croissance de la plante. La demande en N d'une culture est liée à sa biomasse (W) par une relation d'allométrie : $N = aW^b$. Les mécanismes de cette co-régulation font intervenir un ajustement

de l'absorption N à l'entrée de C par la photosynthèse et une rétro-régulation des transporteurs racinaires en situation de « satiété » en N.

Vers un diagnostic de nutrition N des cultures : le concept d'INN. La notion de « courbe de dilution N » permet de déterminer l'état de nutrition N d'une culture grâce au calcul d'un Indice de Nutrition N (INN). Ainsi il devient possible d'estimer, en temps réel, le niveau de satisfaction des besoins en N d'une culture et de piloter la fertilisation en conséquence.

Marie-Hélène Jeuffroy

Réduire la dépendance des systèmes de culture aux engrais azotés de synthèse peut se gérer en combinant plusieurs pratiques culturales, de manière systémique :

- Raisonner la fertilisation N des cultures, en valorisant des périodes de carence azotée (dite utile) et en basant les apports sur un suivi dynamique de l'état de nutrition azotée de la culture : passer d'une approche de pronostic (méthode du bilan N) à une approche de diagnostic (pilotage intégral à partir du suivi de l'INN) permet de réduire le besoin en engrais N et d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'engrais apporté et de réduire très significativement les pertes vers l'atmosphère.
- La diversification des rotations culturales avec des espèces à faible besoin unitaire en N (besoin par quintal de grains produits). Parmi elles, les légumineuses permettent de mobiliser, deux processus : D'une part, les légumineuses, grâce à la fixation symbiotique, assurent leur propre accumulation d'azote, si les conditions du milieu sont favorables, conduisant à une absence d'apport d'engrais sur ces cultures. D'autre part, la fourniture d'N à la culture suivante, grâce à la décomposition des résidus riches en N permet de réduire significativement les quantités d'engrais apportées. La culture de légumineuses en association avec des céréales ou oléagineux est également un moyen de réduire les apports en engrais azotés sur ces cultures. Des effets similaires sont observés dans les successions avec prairie.
- La ré-association entre « agriculture et élevage » à l'échelle territoriale : c'est un moyen très efficace pour améliorer le bouclage du cycle de l'azote, notamment en valorisant des couverts par les animaux, ou en améliorant la valorisation des effluents d'élevage dans des approches circulaires. Mais la valorisation maximale de ces effluents nécessiterait une réorganisation spatiale des élevages. La valorisation des digestats de méthanisation a aussi été abordée, ainsi que les limites qui lui sont liées.
- Le progrès génétique : Les travaux réalisés en génétique depuis de nombreuses années chez le blé, le maïs et le colza, montrent qu'il est possible de développer des variétés plus économes en engrais azoté, absorbant mieux l'azote du sol, et donc adaptées à une faible fertilisation azotée. Mais, pour appliquer ces résultats en sélection, il est nécessaire de progresser dans les outils de phénotypage haut débit du système racinaire. Des travaux sont en cours pour utiliser la mycorhization des semences pour mieux exploiter les réserves azotées du sol.

Mettre en œuvre ces solutions agronomiques suppose de mobiliser l'ensemble des acteurs pour un changement en profondeur, et de modifier les dispositifs d'accompagnement des agriculteurs.

Philippe Gate a complété par des pistes d'avenir en procédant tout d'abord à une analyse transversale des différents leviers capables de réduire les doses d'azote et les émissions de N₂O, avec un souci de quantification. Cette analyse a permis de dresser un inventaire et une typologie des leviers : activables (déployés ou non déployés), restés à l'état de recherche et donc insuffisamment activés, et ceux présentant des verrous à lever.

Parmi les perspectives, l'accent a été mis sur la génétique, le phénotypage et l'agroéquipement afin d'améliorer les performances des associations d'espèces avec légumineuses (agriculture de conservation, semis intercalés, mélanges intra-parcellaires) avec la notion d'idéo mélanges et de pratiques culturales associées. S'agissant de l'azote, les autres voies d'amélioration ont porté sur la génétique des espèces (pour améliorer l'efficacité d'utilisation et d'absorption), les outils numériques capables d'améliorer *in situ* la capacité d'absorption de l'azote au champ. Parmi les axes de réduction des émissions de N₂O, il a été mis en avant la valorisation des effluents et de différentes sources organiques par une nouvelle industrie du recyclage mobilisant des innovations technologiques. Les épandages ciblés avec enfouissement ont aussi été abordés ainsi que la question de l'avenir des engrais azotés par la voie décarbonée (via l'usage de l'hydrogène...). Des pistes prometteuses pour stimuler la dénitrification afin d'aller jusqu'à l'étape ultime de production de N₂, qui n'est pas un gaz à effet de serre ont également été relevées comme axes prioritaires de recherche.

En synthèse, si des degrés de liberté ne sont pas encore exploités, les innovations sont en cours, elles nécessitent une approche multi leviers souvent systémique à l'échelle des territoires. Il apparaît donc nécessaire de mettre en place des projets multi acteurs ambitieux transformants « recherche-action-solutions » avec un accompagnement politique et financier adapté.

Les **débats nombreux** avec la salle ont porté sur l'activité bactérienne du sol, le manque de disponibilité en matières organiques, la faiblesse de la recherche sur les plantes de service, les freins inhibants la mise en place des différents leviers, la combinaison des pratiques vertueuses, les effets économiques de la hausse des prix de l'azote sur les exploitations.

Joël Lorgeoux a finalisé les débats en reprenant les éléments clés des différentes contributions sur la base du conte « Loup y es-tu ? », à savoir comprendre (le loup), le connaître, l'appivoiser, appliqué à l'usage adapté des engrais azotés. S'il y a un loup dans nos modes de production c'est la partie de l'azote apportée qui n'est pas utilisée par la plante. Réduire notre dépendance à l'azote doit passer par la mobilisation de 2 axes forts : les légumineuses et l'amélioration de l'efficacité des engrais minéraux et organiques. Les leviers sont multiples et combinatoires, mais tous ont en commun de redynamiser la relation carbone et azote, la plante et le sol. Dans une conjoncture économiquement tendue entre le prix de l'azote et celui des productions, la moindre dépendance aux engrais azotés de synthèse devient une clef pour la stabilité des exploitations. C'est un enjeu politique et sociétal qui nécessite de

**Groupe de Travail : « Engrais et nutrition azotée des cultures »
Séance du 19 Novembre 2025.**

mobiliser très largement tous les acteurs pour gagner en autonomie, c'est un long chemin qui doit prendre en compte l'amont et l'aval des productions.

Une remarquable séance, au cœur des enjeux de l'agriculture durable de demain.