

Questions/réponses Séance Académique du 10 Avril 2019

1 Question Michel Dron : Qu'en est-il de la fertilisation et de la nutrition minérale des cultures mixtes, féverole/colza, graminées (blé)/légumineuses (pois) par exemple ?

Réponse G. Lemaire : Question délicate. Lorsque la plante est isolée elle optimise sa croissance en surface et donc la dilution de l'azote est moindre qu'en culture dense. La plante qui reçoit un fort éclaircissement prélève donc plus d'azote que celle qui est ombragée. La compétition pour la lumière entre plantes détermine donc le partage de l'azote entre plantes au sein d'un couvert végétal. L'apport d'azote favorisera donc les plantes qui ont accès à la lumière ce qui exacerbera la compétition envers les plantes dominées. Si on veut prévoir l'effet d'un apport d'azote sur un mélange d'espèces ou de variétés, il faut donc avoir une information sur leur accès respectif à la lumière. Des travaux sont en cours là-dessus à l'INRA de Lusignan.

Réponse JF Briat : Un aspect particulier des associations culturales céréales / légumineuses concerne les sols calcaires. Ces sols induisent fréquemment des chloroses ferriques chez les légumineuses cultivées seules, diminuant leur rendement et la qualité nutritionnelle de leurs graines. Les céréales sont plus résistantes à la chlorose ferrique car ce type de plantes produit des sidérophores (chélateurs) permettant une meilleure solubilisation du fer du sol. Par voie de conséquence une co-culture céréales / légumineuses sera favorable aux légumineuses en améliorant leur nutrition en fer.

2 Questions d'André Gallais :

Première question. Que se passe-t-il au niveau de la teneur en azote des feuilles quand la floraison et le remplissage des grains deviennent importants ?

Réponse G. Lemaire : Pour le maïs en particulier, l'absorption postfloraison de l'azote est limitée par (i) la sénescence des feuilles, et (ii) des sécheresses terminales fréquentes. Il est donc souvent souhaitable d'obtenir des états de nutrition azotée légèrement excédentaires à la floraison afin de satisfaire la fourniture en azote nécessaire pour l'accumulation des protéines dans les grains. Pour le blé, cette connaissance du statut azoté de la plante post-floraison peut être utile pour piloter d'éventuels apports tardifs pour optimiser la qualité des grains.

Seconde question : Quand la teneur en CO₂ de l'atmosphère va être encore plus élevée que maintenant, allons-nous observer une baisse de la teneur en protéines du grain ? Comment expliquer cela ? Par exemple, certains travaux ont fait état d'effets négatifs du CO₂ élevé sur la nitratre réductase.**Réponse Alain Gojon :** La diminution de la teneur en protéines dans les plantes cultivées sous CO₂ élevé semble assez générale et affecte tous les organes de la plante, y compris les graines. Ceci est bien documenté chez le blé notamment. On ne sait pas encore bien expliquer pourquoi l'élévation de la teneur en CO₂

Copyright Académie d'agriculture de France, 2019.

entraîne une baisse de teneur en azote, et plus généralement en d'autres minéraux. Trois hypothèses sont avancées :

- dilution de l'azote par une production accrue de biomasse suite à une activation de la photosynthèse. C'est un effet qui est cohérent avec le concept de courbe de dilution présenté par Gilles Lemaire. Il faut cependant remarquer que les légumineuses valorisent mieux leur croissance sous forte concentration de CO₂ que les graminées par exemple, alors que c'est chez ces mêmes légumineuses que l'on observe la plus faible diminution de teneur en azote (sans doute parce que la fixation de l'azote moléculaire N₂ est plus directement dépendante de la photosynthèse que ne l'est l'absorption du nitrate ? D'après Gilles Lemaire). Il semble donc que l'effet dilution n'explique pas tout.
- Les fortes concentrations en CO₂ peuvent avoir un impact négatif sur les mécanismes de la nutrition azotée des plantes comme évoqué dans le cas de la nitrate réductase. On observe toutefois des différences entre fertilisation nitrique et ammoniacale. Certains travaux indiquent que le CO₂ élevé inhibe spécifiquement l'absorption et l'assimilation du nitrate, alors que celles de l'ammonium sont peu ou pas affectées. Les raisons en sont encore mal comprises
- Il peut y avoir aussi des effets sur la microflore du sol, dont la croissance pourrait bénéficier d'une sécrétion accrue de carbone par les racines des plantes sous CO₂ élevé. Ceci pourrait augmenter l'immobilisation des minéraux dans la matière organique du sol, et les rendre ainsi moins disponibles pour les plantes.
- Ces trois processus ne sont pas exclusifs les uns des autres et peuvent donc s'additionner. En conséquence la modification du climat risque d'augmenter la photosynthèse des plantes C3 et en même temps de modifier négativement la nutrition azotée de ces plantes et faire baisser la teneur en protéines des grains.

Réponse JF Briat : Il faut également noter que l'augmentation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère entraînera une acidification des terres et des océans ce qui ne sera pas sans conséquence sur les équilibres ioniques de ces milieux.

3 Claude (?): Peut-on nourrir les plantes par des apports organiques ?

Réponse A. Gojon : Les plantes peuvent tout à fait assurer leur nutrition azotée en utilisant des formes organiques de l'azote (acides aminés, urée). Les apports organiques se font couramment sous forme de fumier, compost, etc. Les apports d'urée sont couramment utilisés dans de nombreux pays. Les apports organiques divers sont très utilisés en agriculture biologique et en horticulture. On peut fournir aux plantes des extraits végétaux et animaux qui contiennent des minéraux en quantité suffisante pour leur développement. Ces extraits sont aussi considérés comme des biostimulants qui peuvent agir sur la plante et la flore bactérienne du sol.

G. Lemaire constate que la composante « organique et microbienne » de la disponibilité des minéraux pour les plantes a été trop longtemps négligée face à la seule composante physico-chimique résultant des interactions avec la matrice du sol. Par exemple, on ne comprend rien à l'alimentation en phosphore des prairies si on ne prend pas en compte le compartiment phosphate organique et le couplage des cycles phosphore-carbone et azote.

4 Bernard Saugier :

Première question : les végétaux ont connu des périodes géologiques où l'atmosphère était très riche en CO₂. Que sait-on de l'adaptation des plantes à ces conditions ? Comment ont-ils géré les déséquilibre carbone/azote ?

Deuxième question : l'apport « diagnostic » de la teneur en azote préconisé par G. Lemaire est-il facile à faire ? S'agit-il toujours du dosage d'azote dans des extraits de tiges ? l'agriculture de précision a-t-elle développé des systèmes efficaces et sûrs par télédétection ?

Réponse A. Gojon : On ne sait pas grand-chose de l'adaptation des plantes aux atmosphères riches en CO₂ du passé.

Réponse G. Lemaire : il existe maintenant dans le commerce de nombreux appareils supposés mesurer correctement le statut azoté des plantes. Cependant, ces outils ne visent en fait qu'à estimer une teneur en azote des feuilles mais ne prennent pas en compte explicitement la dilution de l'azote pour calculer l'INN en fonction de la biomasse de la culture, d'où en général, là encore, des préconisations d'apports souvent encore excessifs. Il est dommage que les Instituts de recherche publics s'intéressent peu aux mises au point de ces appareils qui sont fort utiles pour la gestion des épandages d'engrais à condition d'être intégrés et assujettis au modèle d'interprétation cohérent que nous avons présenté, ce qui est rarement le cas.

G. Lemaire fait remarquer que les firmes privées sont très engagées dans la mise au point de ces appareils et de leur développement. Apparemment les chinois s'investissent beaucoup dans ces nouvelles technologies. A. Gallais rappelle que la France n'est pas étrangère au développement de ces techniques de détection et que des milliers d'hectares de culture sont surveillés ainsi.

5 Christiane Mercier : C. Mercier a observé en Colombie la présence de bananiers dans les cultures de caféiers ? Les bananiers sont-ils sensés améliorer la disponibilité de l'azote du sol.

Réponse G. Lemaire. Les bananiers peuvent être utilisés essentiellement comme arbres de couverture nécessaire au microclimat du caféier mais je ne vois pas en quoi il participerait à sa nutrition azotée.

6 Guilhem Bourrié : G. Bourrié rappelle que la tension du CO₂ dans le sol est très élevée et que le CO₂ agit sur la flore microbienne entourant ces dernières. Le CO₂ peut favoriser également la sécrétion d'exsudats racinaires. Les compartiments racine/plante doivent être considérés comme un système mécaniste comme en physico-chimie. L'augmentation du pH du sol modifie par exemple les capacités d'hydrolyse de l'urée dans le sol et l'assimilation de l'ammonium.

Réponse de Hatem Rouached : H. Rouached rappelle que l'arséniate est transporté au niveau de la racine par les transporteurs de phosphate. L'accumulation de l'arséniate peut provoquer une intoxication de la plante. Des études récentes suggèrent qu'une mutation au niveau de gènes mitochondriaux pourrait augmenter la tolérance des plantes vis-à-vis de cet élément toxique.

7 Bernard Le Buanec : B. Le Buanec fait remarquer qu'il a publié un livre aux Presses des Mines où il fait état des avancées technologiques tant en génomique qu'en matériel de précision, avancées qui seront très utiles pour le développement de l'agriculture de demain qui doit être économe en intrants, respectueuse de l'environnement et capable de subvenir aux besoins d'une humanité croissante.

Réponse de Gilles Lemaire : Oui, il y a une explosion de ce type de technologie et sans doute, d'après mes connaissances personnelles, ne permettent elles pas l'optimisation attendue. Je répète, que cette technologie doit impérativement se développer en intégrant les principes de base qui ont été présentés sur la nutrition minérale des plantes, sinon on développera encore une fois un bel appareil, apportant un conseil et menant à une décision dont ne maîtrise pas le bien fondé. La technologie est indispensable et il faut la développer et l'encourager mais en étroite liaison avec la science.

8 Christine King : King s'interroge sur le temps qu'il a fallu (> 30ans) pour le développement de ces nouvelles connaissances et technologies.

Réponse G. Lemaire : G. Lemaire dit que ceci montre que développer des connaissances qui vont à l'encontre des paradigmes fondateurs de l'agronomie prend du temps et ne peut provenir que des marges de la disciplines (dans ce cas présent, les « prairies »). Ensuite il faut passer de « réseaux d'indices et d'hypothèses » à l'établissement de preuves solides et irréfutables grâce à la pluridisciplinarité (Agronomie-Biologie) avant oser prétendre mettre à bas les bases de 100 ans d'histoire de recherche en agronomie ! Tout ceci dans un cadre institutionnel ou « production de connaissance fondamentale » et « application concrète agricole » sont totalement séparés ! Ce qui n'aide pas à aller vite ! Si aujourd'hui on veut parler d'Agro-Ecologie alors il faut en déterminer les paradigmes fondateurs et moderniser l'enseignement agricole, en le remettant au niveau des connaissances actuelles. Vaste programme.

9 Michel Dron et JF Briat posent une question à Hatem Rouached : les voies de signalisation déterminées dans les mécanismes d'assimilation de phosphate et de zinc font intervenir des phospholipides qui sont aussi des composés membranaires. Que sait-on dans ce domaine ?

Réponse d'Hatem Rouached : Bien que le changement de la composition des classes de phospholipides chez les plantes peut affecter la présence/accumulation des transporteurs de phosphate au niveau de la membrane plasmique, il n'est pas exclu que le ratio de Lyso-PhosphatidylCholine (Lyso-PC)/PhosphatidylCholine (PC) joue le rôle d'un signal régulant l'expression des gènes codant les transporteurs de phosphate. Par exemple, il a été démontré que Lyso-PC agit comme un signal de régulation de l'expression des gènes de transporteurs de phosphate spécifiques des mycorhizes arbusculaires (AM) dans la pomme de terre, la tomate et récemment dans *Lotus japonicus*.

10 Jean-Luc Julien : Dans ce qui a été exposé précédemment il est montré qu'il faut prendre ensemble la biomasse de la plante et sa croissance pour avoir une bonne estimation de son état azoté. Problème, les mesures par télédétection sont incapables de mesurer la production de biomasse. Y a-t-il une solution à l'avenir ?

Réponse de Gilles Lemaire : Oui des outils techniques intimement basés sur les développements fonctionnels présentés tout à l'heure sont en cours. Mais cela réclame encore des études intégrées pour faire émerger ces outils d'aide à la décision et en définir les performances et modalités d'utilisation par l'agriculteur.