

IMPACT DES PRATIQUES CULTURALES SUR LA VIE MICROBIOLOGIQUE DU SOL

L'ENGRAIS AZOTÉ MINÉRAL, PLUS IMPACTANT QUE LE GLYPHOSATE

Dans le cadre de travaux de recherche à l'université de Picardie Jules Verne, l'impact de diverses pratiques culturales a été abordé. Les résultats détaillés des différentes études ont par ailleurs été publiés dans plusieurs revues scientifiques internationales à comité de lecture (Cf. bibliographie). Le glyphosate étant d'actualité, l'auteur propose d'en faire une synthèse dans le cadre de cet article.

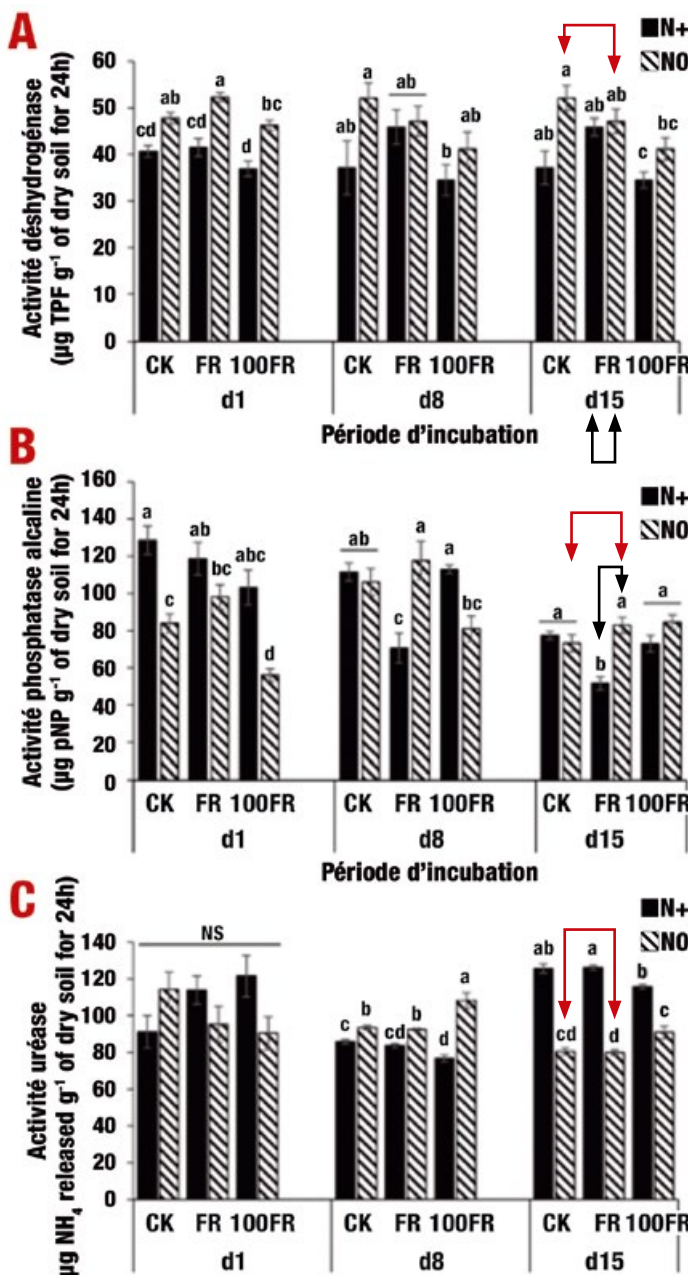
Trois types d'études expérimentales ont été réalisées dont deux en conditions contrôlées de laboratoire et une troisième en conditions de plein champ. L'ensemble des études a été réalisé à partir d'une plateforme expérimentale de longue durée mise en place en 2010 sur un sol limono-argileux du Nord de la France dont l'objectif est d'étudier les impacts de diverses pratiques culturales ou systèmes de cultures différenciés, sur la productivité brute. L'étude de la productivité brute comprend l'enregistrement de la biomasse végétale totale produite, les rendements agricoles, le taux de matières organiques, l'évolution de la biodiversité bactérienne et fongique du sol et l'intensité de certaines activités biologiques du sol. Ainsi, il faut bien comprendre que c'est la productivité brute qui permet de comparer globalement la performance des systèmes de cultures et non pas uniquement la productivité exprimée seulement par le rendement agricole.

Concernant les études sur le glyphosate, celles-ci font partie de la thèse de doctorat d'Elodie Nivelles, soutenue le 14 septembre 2017: « Évaluation des effets de l'azote et des herbicides sur les indicateurs qualitatifs du sol dans des agro-systèmes contrastés ».

Étude sur sol nu (expérimentation 1, figure 1, Nivelles et al, 2017)

Dans cette étude, menée en laboratoire à partir d'échantillons de sol prélevés au champ, diverses activités biochimiques du sol telles que l'activité dés-hydrogénasique du sol (enzyme du sol impliquée dans la respiration microbienne générale

Figure 1 Effet du glyphosate à 2 l/ha sur les activités enzymatiques du sol, déshydrogénase, phosphatase et uréase



A activité déshydrogénase. **B** activité phosphatase alcaline. **C** activité uréase. Histogrammes hachurés: sol NO n'ayant pas reçu d'engrais azoté depuis 6 ans; histogrammes noirs: sol N+ ayant reçu des engrais azotés depuis 6 ans. d1: après 1 jour; d8: après 8 jours; d15 après 15 jours. CK: sol témoin sans glyphosate; FR: sol avec application de glyphosate. 100FR: sol ayant reçu 100 fois la dose de glyphosate.

du sol), l'activité phosphatase (enzyme du sol impliquée dans la mise à disposition de l'élément phosphaté), l'activité uréase (enzyme impliquée dans la transformation de l'urée en ammonium) et l'activité de nitrification (transformation de l'ammonium en nitrate) ont été testées. L'activité du sol vis-à-vis de sa capacité à dégrader les substrats carbonés (synonyme: matières organiques du sol) a aussi été mesurée. Parallèlement, les taux de phosphate et de nitrate ont été également suivis. Deux types de sols ont été prélevés, l'un n'ayant pas reçu de fertilisation azotée depuis 6 ans, l'autre ayant reçu une fertilisation azotée de type classique établie selon la méthode du bilan azoté prévisionnel. Lorsque l'on compare les activités déshydrogénase, phosphatase et uréase entre un sol n'ayant pas reçu d'engrais azoté depuis 6 ans, sans application de glyphosate (sol témoin), avec le même sol ayant reçu du glyphosate (histogrammes hachurés signalés par les deux flèches rouges), nous constatons qu'il n'y a pas d'effet négatif significatif du glyphosate à la dose appliquée au champ sur les activités déshydrogénase, phosphatase et uréase. D'autres expériences non présentées ont également démontré que le glyphosate ne modifiait pas non plus les teneurs en phosphate et en nitrate du sol mais augmentait l'activité de nitrification du sol (transformation de l'ammonium en nitrate du sol). Pour une autre expérience, le glyphosate a également exercé un effet négatif sur l'activité de dégradation des substrats carbonés (ce qui, au champ, s'apparenterait à une diminution de la minérali-

sation des matières organiques du sol, même s'il n'est pas possible d'extrapoler directement des résultats de laboratoire au champ). En revanche, sur sol fertilisé en azote depuis 6 ans, nous avons pu montrer un effet significatif très net, négatif, de la fertilisation azotée sur l'activité phosphatase (Cf. flèches noires de la figure 1). L'activité phosphatase du sol est un bon indicateur de fonctionnalité du sol car elle est souvent corrélée au taux de mycorhization. Nous verrons en effet pour les études réalisées au champ que les engrais azotés appliqués à la dose actuelle sur le long terme affectent négativement et de façon très forte la mycorhization des cultures.

Étude sur sol cultivé avec du haricot (expérimentation 2, figure 2, Nivelles et al, 2018)

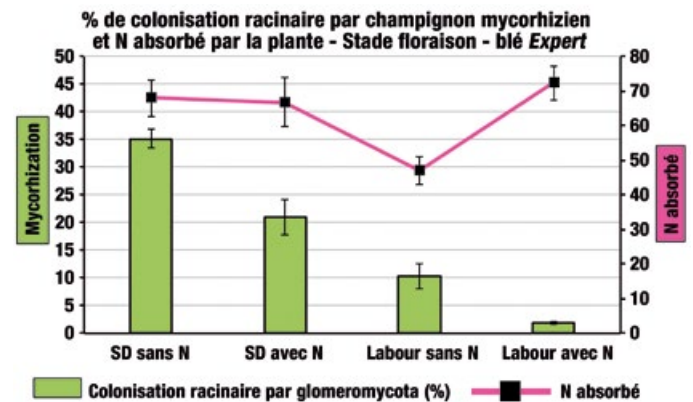
Dans cette expérimentation réalisée en conditions de laboratoire, nous avons évalué les activités déshydrogénase et phosphatase du sol mais aussi le taux de colonisation en mycorhizes des racines du haricot et les nitrates. Parallèlement la productivité en haricot a été suivie ainsi que le taux de survie larvaire du puceron *Aphis fabae*, parasite du haricot. Dans cette même expérimentation (résultats détaillés non

présentés ici), sur sol témoin non fertilisé depuis 6 ans, nous n'avons pas pu mettre en évidence d'effet significatif du glyphosate à la dose employée au champ sur l'activité déshydrogénase, le taux de nitrate, la productivité et la durée de vie larvaire du puceron ; à l'inverse, nous avons noté un effet légèrement positif du glyphosate sur l'activité phosphatase. En revanche, comme pour l'expérimentation 1, nous avons mis en évidence un effet négatif de la fertilisation azotée de long terme sur l'activité phosphatase et déshydrogénase. De même que pour l'expérimentation 1, nous avons montré que la fertilisation azotée affectait la durée de vie des larves du puceron *Aphis fabae* alors que le glyphosate appliqué seul à la dose homologuée n'avait pas d'effet sur la durée de vie larvaire du puceron.

Étude au champ en conditions agricoles (expérimentation 3, figure 3, Nivelles et al, 2016)

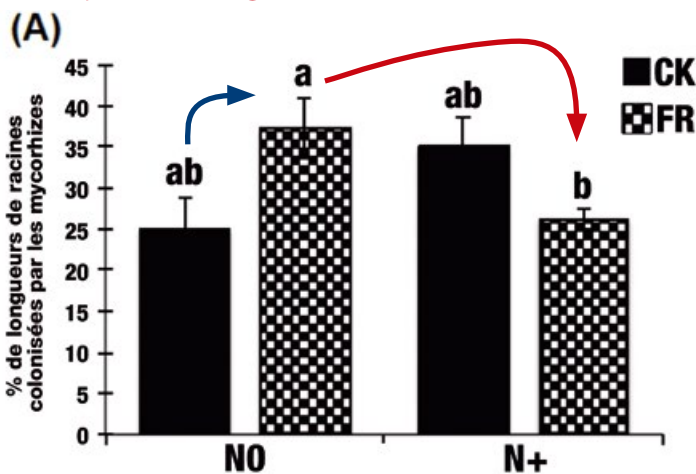
Dans cette étude, six systèmes de cultures ont été comparés (labour nu, labour avec couverts végétaux en interculture, semis direct nu, semis direct sous couverture végétale). Le glyphosate a été appliqué à la dose de 2 l/ha lorsque le

Figure 3 Influence du type de travail du sol et de la fertilisation azotée de long terme (6 années) sur le taux de mycorhization des racines de blé (variété Expert) et la quantité d'azote absorbée par plante à la floraison du blé

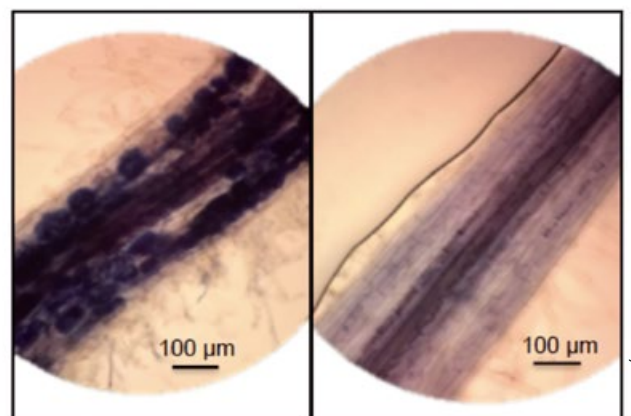


Axe des ordonnées de gauche : taux de mycorhization ; axe des ordonnées de droite : azote (N) absorbé par la plante. SD sans N : semis direct sur sol sans azote appliqué depuis 6 ans et SD avec N : semis direct sur sol avec azote appliqué depuis 6 ans. Labour sans N : labour + herse rotative sur sol sans azote appliqué depuis 6 ans. Labour avec N : labour + herse rotative sur sol avec azote appliqué depuis 6 ans. Courbe rose : quantité d'azote absorbée par plante en fonction du type de travail de sol et de la fertilisation azotée appliquée pendant 6 ans. On observe que le labour (2 histogrammes de droite) affecte négativement le taux de mycorhization du blé comparativement au semis direct (2 histogrammes de gauche). De plus, nous observons une fois de plus, l'effet négatif des engrais azotés sur la mycorhization du blé (l'expérience 2 - figure 2 l'ayant démontré sur le haricot) ; en effet, en condition de semis direct sans azote appliqué depuis 6 ans, le taux de mycorhization du blé est de 35 % alors qu'il n'est que de 21 % lorsque des engrais azotés ont été appliqués pendant 6 ans. En revanche, en conditions de labour, on s'aperçoit que les taux de mycorhization chutent respectivement à 10 % et 3 % en absence et en présence de fertilisation azotée de long terme, comparativement à 35 % et 21 % en condition de semis direct.

Figure 2 Influence du glyphosate et de la fertilisation azotée de longue durée sur le pourcentage de racines de haricot colonisées par les mycorhizes



À gauche, pourcentage de longueur de racines colonisées par les mycorhizes CK : sol sans application de glyphosate ; FR : sol avec application de glyphosate ; NO : sol n'ayant pas reçu de fertilisation azotée depuis 6 ans ; N+ : sol ayant reçu une fertilisation azotée classique depuis 6 ans ; histogrammes hachurés avec application de glyphosate (FR), histogrammes noirs sans application de glyphosate (CK). La flèche bleue indique que lorsque le glyphosate (FR) est appliqué sur un sol non fertilisé depuis 6 ans (sol témoin), il y a une augmentation de la mycorhization ; néanmoins le test statistique n'étant pas significatif (la lettre a étant commune aux 2 histogrammes),



Photos de racines mycorhizées (cercle de gauche) et non mycorhizées (cercle de droite).

nous concluons sagement que le glyphosate n'a pas d'effet sur la mycorhization du haricot. En revanche, la flèche rouge indique que comparativement au sol NO (histogramme hachuré FR) ayant reçu du glyphosate mais n'ayant pas reçu d'azote minéral depuis 6 ans (histogramme hachuré, NO), il y a une diminution significative (lettres a et b différentes) de la mycorhization pour le sol ayant reçu des engrais azotés pendant 6 ans (histogramme hachuré N+). Le glyphosate n'exerce donc pas d'effet négatif sur la mycorhization alors que l'application d'engrais azotés dans la durée affecte fortement et négativement le taux de mycorhization des racines de haricot.

traitement était justifié par le salissement des parcelles en interculture (désherbage de la culture principale précédente incomplet ou lorsque les couverts végétaux gélifs à la sortie du printemps n'avaient pas permis de contrôler suffisamment l'enherbement).

Parmi les effets observés, nous avons pu montrer que les applications de glyphosate n'avaient pas de répercussions négatives sur le taux de mycorrhization du blé (Cf. figure 3), ni sur la réserve du sol en spores mycorrhizogènes en conditions de semis direct nu et de semis direct sous couverture végétale

mais qu'à l'inverse, le labour et la fertilisation azotée minérale de synthèse appliquée sur le long terme (6 années) affectaient négativement la mycorrhization du blé et la réserve du sol en spores de mycorrhizes, les champignons mycorrhiziens étant des indicateurs de la qualité de la relation sol/plante/microorganismes utiles ou des sols vivants. De même, nous avons pu montrer que les teneurs en matières organiques des systèmes labourés étaient fortement diminuées mais que cette diminution était également plus forte en conditions de fertilisation azotée compa-



Technique de semis direct sous couverture végétale avec broyage frontal simultanément au semis en interculture courte entre deux blés (valable aussi après pois de conserve, orge d'hiver). Cette technique permet de s'affranchir de l'utilisation de glyphosate lorsque la parcelle prévue au semis est propre, notamment en graminées adventices (ray-grass, vulpins, brôme, paturins). Ici, le couvert végétal est du radis structurateur et le semis prévu du blé d'hiver en semis intermédiaire de fin octobre. Les radis étant broyés, ils sont au surplus gérés après le semis du blé avec un herbicide antidicotylédones sélectif du blé tendre. Un couvert d'avoine rude pourrait également être géré de cette façon avant une culture dicotylédones de type pois d'hiver, fèverole d'hiver ou lin d'hiver. Pour les semis de printemps, les couverts ayant en principe gelé, le roulage ou un rouleau faca suffisent généralement; la technique de broyage étant tout de même conseillée avant culture légumière de type pois de conserve ou haricot afin de ne pas emporter de résidus de couverts avec les légumes lors de la récolte. Pour d'autres raisons, l'utilisation d'un herbicide antigraminées spécifique peut être conseillée au stade jeune du couvert lorsque la parcelle est une parcelle connue pour présenter une flore adventice graminée importante, et plus particulièrement notamment en élevage lorsque les pailles sont ramassées; la flore adventice se trouve alors concentrée sous les andains, le couvert végétal ne pourra se développer correctement. Les doses d'antigraminées spécifiques pouvant également fortement diminuer par ajout de sulfate d'ammonium poudre (2kg/ha) et d'une minidose d'huile (type Gondor). Néanmoins pour ce type de parcelles non contrôlées efficacement et antérieurement par les herbicides sélectifs, l'utilisation du glyphosate restera le meilleur niveau de sécurisation, surtout si les graminées (ray-grass et vulpin) sont de type résistants. Le contrôle de la germination des graminées adventices jusqu'au printemps est cependant possible à condition de choisir des espèces de couverts non gélives et de broyer le couvert végétal 4 à 6 semaines avant le semis de la culture principale (début février avant betterave, lin et pois; début mars avant maïs) et bien sûr d'augmenter la dose de semis du couvert végétal; faute de quoi, après gel du couvert, la luminosité parvenant sur le sol fera de nouveau germer les adventices.



La science et la recherche ont besoin de disséquer les mécanismes pour apporter de la connaissance et de la compréhension. Cependant et avant d'extrapoler, il est toujours judicieux de replacer les éléments dans leurs milieux avec toutes les interférences que cela implique. C'est bien pour cette raison que des mesures au champ seront toujours très complémentaires à celles de laboratoire. Par ailleurs l'agriculture « imposant » une culture ou une association de cultures, va toujours entraîner une modification et adaptation du milieu. Les pratiques culturales doivent donc toujours être jugées sous forme de bilan ou compromis entre les activités entraînant des agressions et les actions stimulant un développement et une construction. L'objectif étant de faire monter cet équilibre et d'être plus dans une démarche d'aggradation que de dégradation. À ce titre, il est très clair que le travail du sol, bien qu'il soit depuis très longtemps consenti par les agriculteurs et les communautés scientifiques, possède un impact négatif important sur la vie du sol en général, qui s'est cependant adaptée pour survivre. Les engrais et entre autres l'azote, comme le montre T. Tetu ici, sont également un gros perturbateur de la biologie du sol. Enfin l'évaluation de l'impact de la chimie de synthèse est beaucoup plus complexe à analyser car très différente selon les molécules, les dosages et les conditions d'application. Pour ce qui est du glyphosate, ces résultats corroborent ceux que nous avions présentés sur Oberacker Suisse (TCS n°85 de novembre/décembre 2015). Ils sont minimes et certainement même pas directs. En fait, et comme il faut raisonner « bilan », il ne suffit pas d'éliminer une agression négative, même importante, pour être mieux. Le poids d'actions positives que l'on peut insérer dans le système est ici très déterminant. C'est à juste titre ce que nous avons appris avec l'AC. La suppression du travail du sol est certes un progrès mais il a été très largement décuplé à partir du moment où nous avons commencé à couvrir les intercultures avec des associations. Alors un peu de glyphosate ne sera pas si impactant et surtout nous permettra d'apporter encore plus d'aggradation s'il nous permet de supprimer le travail du sol, de produire des couverts performants et aussi de réduire significativement la fertilisation azotée.

Frédéric THOMAS

rativement aux sols témoins n'ayant pas reçu d'engrais azotés de synthèse depuis 6 ans. Concernant la biodiversité microbienne fonctionnelle du sol, nous avons également pu montrer que le glyphosate appliqué au champ n'avait pas d'effet négatif alors qu'une fois de plus, il est apparu que le travail du sol par le labour et la fertilisation azotée de long terme affectaient de manière

significative les activités microbiennes du sol.

En pratique et en conclusion

En conclusion, nos travaux ont pu démontrer que le travail du sol intensif (labour + herse rotative) mais aussi la fertilisation azotée appliquée dans la durée (6 années pour nos expérimentations) affectaient négativement un ensemble de processus naturels (stockage de

Précisément Polyvalent...

Sepeba Poly'Doseur 2

une 2^e distribution pour semoirs
(semoirs à distribution centrale)

- engrais
- microgranulés/hélicides
- graines toutes tailles

+ Simple ...
+ Performant

02 41 68 02 02 - info@sepeba.fr

SEPEBA ... la qualité made in France

carbone des sols, taux de mycorhization, biodiversité fonctionnelle) contrairement au glyphosate qui n'a pas empêché d'observer les effets positifs sur le taux de mycorhization du blé, le stockage de carbone et l'augmentation de la biodiversité fonctionnelle dans les sols conduits en semis direct nu (témoin) et en semis direct sous couverture végétale.

Par ailleurs, même si le glyphosate est régulièrement utilisé en agriculture de conservation comme il l'est également en agriculture traditionnelle, la gestion des couverts végétaux en AC peut également se faire par broyage du couvert végétal simultanément au semis direct sous couvert à condition que la parcelle ait été gérée efficacement dans la culture principale précédente (par les herbicides sélectifs utilisés notamment en absence de graminées adventices). Par ailleurs, avec la technique du broyage et au travers du choix judicieux des couverts végétaux, il est également possible de gérer ces derniers par le choix des herbicides sélectifs utilisés en culture, en choisissant par exemple un couvert végétal constitué exclusivement de dicotylédones lorsque la culture suivant le couvert végétal sera une graminée (céréale, maïs), ou à l'inverse constitué exclusivement de graminées (type avoine rude) lorsque la culture principale suivante sera une dicotylédone, par exemple de type légumineuse. De même, il est possible de diminuer fortement les doses de glyphosate appliquées par l'ajout d'huile (type Gondor), de sulfate d'ammonium sous forme de poudre (2 kg/ha). Le roulage des parcelles après application du glyphosate permet également de diminuer encore plus les doses par l'effet de blessures qu'il provoque augmentant la pénétration du glyphosate. Ainsi, nous pouvons nous rendre compte que c'est bien l'innovation réalisée au jour le jour par les agriculteurs qui permet de progresser vis-à-vis de l'utilisation des pesticides en général et de répondre ainsi aux objectifs de l'agriculture durable sous toutes ses formes

de développement. Quant à la dangerosité du glyphosate, il est à noter qu'une agence internationale sur trois le classait en tant que cancérigène potentiel, notamment faisant suite à une publication internationale de 2012, alors que depuis cette date, cette publication, controversée scientifiquement, a finalement été retirée par l'éditeur, preuves scientifiques ayant été rapportées que les conditions de traitement statistique ne permettaient pas de conclure scientifiquement aux effets observés. Par ailleurs, il est à noter que d'autres pesticides, pourtant réellement considérés comme cancérigènes, tels le 2.4D et bien d'autres, ne font l'objet que de très peu d'attention vis-à-vis des autorités institutionnelles. Pourtant, par exemple, en recherche dans le domaine des biotechnologies végétales, nous utilisons la matière active 2.4D (gamme ultrapure pour la recherche) pour son action hormonale équivalente ou « hormone like » de celle des auxines naturelles (hormones de division et de multiplication cellulaire). Nous manipulons cette matière active sous hotte de sécurité avec aspiration, le risque cancérigène étant signalé sur les flacons commercialisés pour la recherche. Bien entendu, en tant que scientifique, nous savons bien que derrière les polémiques sur la dangerosité du glyphosate en tant que pesticide, se cache les 9/10 de l'iceberg : poursuite de l'interdiction des OGM en France et en Europe, puisqu'en interdisant le glyphosate, cela entraînerait implicitement l'interdiction de l'utilisation des variétés cultivées résistantes au glyphosate, de type « round-up ready ».

Thierry TETU¹, agriculteur et maître de conférences à l'université de Picardie Jules Verne

(1) Responsable de la licence professionnelle agriculture de conservation des sols, université de Picardie Jules Verne ; enseignant-chercheur en agroécologie, unité de recherche EDYSAN, FRE-CNRS 3498, UFR Sciences, 33 Rue Saint Leu, 80039 Amiens.



Bibliographie

1. Julien Verzeaux, Abdelrahman Alahmad, Hazzar Habbib, Elodie Nivelles, David Roger, Jérôme Lacoux, Guillaume Decocq, Bertrand Hirel, Manuella Catterou, Fabien Spicher, Frédéric Dubois, Jérôme Duclercq, Thierry Tetu. 2016. **Cover crops prevent the deleterious effect of nitrogen fertilisation on bacterial diversity by maintaining the carbon content of ploughed soil.** *Geoderma*, Volume 281, Pages 49-57.

2. Julien Verzeaux, David Roger, Jérôme Lacoux, Elodie Nivelles, Clément Adam, Hazzar Habbib, Bertrand Hirel, Frédéric Dubois and Thierry Tetu. 2016. **In Winter Wheat, No-Till Increases Mycorrhizal Colonization thus Reducing the Need for Nitrogen Fertilization.** *Agronomy* 2016. 6, 38 ; doi :10.3390/agronomy6020038.

3. Julien Verzeaux, Elodie Nivelles, David Roger, Bertrand Hirel, Frédéric Dubois and Thierry Tetu. 2017. **Spore Density of Arbuscular Mycorrhizal Fungi is Fostered by Six Years of a No-Till System and is Correlated with Environmental Parameters in a Silty Loam Soil.** *Agronomy* 2017, 7(2), 38 ; doi :10.3390/agronomy7020038.

4. Élodie Nivelles, Julien Verzeaux, Hazzar Habbib, Yakov Kuzyakov, Guillaume Decocq, David Roger, Jérôme Lacoux, Jérôme Duclercq, Fabien Spicher, Jose-Edmundo Nava-Saucedo, Manuella Catterou, Frédéric Dubois, Thierry Tetu. **Functional response of soil microbial communities to tillage, cover crops and nitrogen fertilization.** 2016. *Applied Soil Ecology* 108 (2016) 147-155.

5. Élodie Nivelles, Julien Verzeaux, Amélie Chabot, David Roger, Quentin Chesnai, Arnaud Ameline, Jérôme Lacoux, Jose-Edmundo Nava-Saucedo, Thierry Tétu, Manuella Catterou. **Effects of glyphosate application and nitrogen fertilization on the soil and the consequences on aboveground and belowground interactions.** 2018. *Geoderma* 311 (2018) 45-57.

6. Élodie Nivelles, Verzeaux J, Chabot A, Roger D, Spicher F, Lacoux J, et al. 2017. **Does nitrogen fertilization history affects short-term microbial responses and chemical properties of soils submitted to different glyphosate concentrations?** *PLoS ONE* 12(5).

7. Julien Verzeaux, Bertrand Hirel, Frédéric Dubois, Peter J. Lea, Thierry Tétu. **Agricultural practices to improve nitrogen use efficiency through the use of arbuscular mycorrhizae: Basic and agronomic aspects.** Review article. 2017 *Plant Science* 264 (2017) 48-56.

8. Hazzar Habbib. Thèse de Doctorat. 2016. **Impact des systèmes de cultures sur l'efficacité d'utilisation de l'Azote chez le blé et le maïs. Influence du travail du sol, des couverts végétaux d'interculture et de l'historique de fertilisation azotée.**

9. Julien Verzeaux. Thèse de Doctorat 2017. **Évaluation multiparamétrique de la performance des systèmes de culture en agriculture de conservation des sols: approche agroécologique.**

10. Élodie Nivelles. Thèse de doctorat 2017. **Évaluation de l'azote et des herbicides sur les indicateurs qualitatifs du sol dans des agrosystèmes contrastés.**