

DANEMARK

DES RÉSULTATS SUR LES RACINES PROFONDES VIENNENT RENFORCER L'AVENIR DE L'AC

Parce qu'il faut creuser et que cela demande du temps, un travail physique et des outils spécifiques, les racines profondes ont été jusqu'alors peu étudiées. Les contraintes environnementales du Danemark – c'est le pays européen le plus contraint sur l'azote – et les pertes de rendement élevées lors de la sécheresse de 2018 - conduisent les chercheurs locaux à explorer des « pistes en profondeur ».

Le travail de terrain de Corentin Clément, jeune agronome et chercheur français, qui réalise son doctorat sur les racines profondes, est assez atypique : il faut creuser, jusqu'à plus d'un mètre de profondeur. « On commence à parler de racines profondes au-delà d'un mètre de profondeur, mais c'est quelque chose de peu étudié car c'est un travail chronophage et physique. Aussi, il est difficile d'aller observer sans perturber le milieu. Pourtant les racines profondes représentent un accès des ressources potentielles comme l'eau, l'azote et de nombreux autres nutriments. »

Les ACistes le savent bien : les systèmes racinaires dépendent de la génétique (il suffit de regarder les différences entre les racines d'une moutarde et d'un blé), de l'itinéraire technique, du type de sol et de l'organisation du profil de sol et des conditions d'environnement (climat notamment).

Tout l'enjeu est donc de comprendre en quoi les agricul-

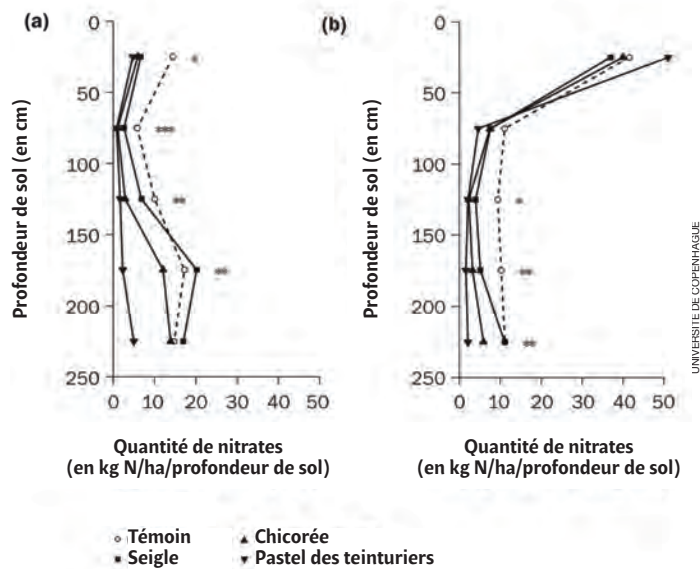
teurs peuvent bénéficier des racines profondes et quelles conditions et pratiques sont favorables à leur développement. L'objectif de l'équipe de recherche menée par Kristian Thorup-Kristensen à l'Université de Copenhague est de comprendre les interactions entre les facteurs génétiques (espèces, variétés), les facteurs techniques (couverts végétaux, non-labour) et environnementaux (climat) qui influent sur la croissance des plantes et des racines et permettraient d'optimiser les pratiques vers des systèmes plus résilients. L'axe central de recherche se portant sur les résistances aux sécheresses et la captation de l'azote. Le choix des pratiques mais aussi des cultures est donc au centre de ces enjeux pour l'agriculteur.

La chicorée s'enracine jusqu'à 2,40 m

En 2015, des chercheurs danois étudient la quantité de nitrates présente dans le sol lorsque les plantes de couverts suivantes



Tomke Wacker et Corentin Clément devant les tours de croissance de l'Université de Copenhague.



Quantité de nitrates dans le sol sous couvert de seigle, chicorée, pastel des teinturiers et témoin au mois de novembre (a) et après couvert en mai (b). Les astérisques indiquent des niveaux de significativité pour chaque profondeur de sol.

Vous êtes agriculteur irrigant dans le Sud-Ouest ?
Vous cherchez à vous diversifier et créer une valeur ajoutée à votre assolement ?

Scannez ici pour plus d'infos

Rejoignez la filière **POPCORN!**

Contrats de maïs à éclater pour 2021

DATES ET LIENS VERS LES REUNIONS DE PRESENTATION EN VISIOCONFERENCE

RDV SUR NOTRE SITE : popcorn.fr/actualites

natais

Partenariat Agronomique tél. 05 31 24 10 32 mail agro@popcorn.fr

popcorn.fr @nataispopcorn



Le pastel des teinturiers, un pivot oublié ?

Isatis tinctoria est présente dans les expérimentations du Deep Root Lab au Danemark. Cette brassicacée bisannuelle pousse à l'état naturel en Europe du Sud et en Asie. Elle a été largement cultivée en Europe pour la production d'une teinture bleue (comme dans le Gers avec le fameux « bleu de Lectoure ») avant de se faire détrôner par l'indigotier ou des colorants de synthèse. On prélevait, pour la teinture, les feuilles de la plante au stade rosette. C'est aussi une bonne plante fourragère : il y a 300 ans, on faisait paître les moutons dans les champs de pastel après la dernière récolte d'automne. La plante fleurit la deuxième année et développe un puissant pivot. Des chercheurs danois ont réalisé en 2017 une expérimentation en intégrant le pastel des teinturiers en culture intercalaire avec des poireaux, dont l'enracinement est très superficiel. Les racines du pastel sont descendues en quelques mois jusqu'à 2 mètres de profondeur ; la quantité d'azote présent dans le sol à l'automne a diminué de 54 kg/ha et le pastel a accumulé 48 kg d'N dans sa biomasse aérienne. Cerise sur le gâteau, le pastel, en limitant son développement par rapport à une culture seule, a permis un meilleur développement des poireaux. Les résultats sont meilleurs lorsque le pastel des teinturiers est semé tôt, c'est-à-dire 5 semaines après l'implantation des poireaux.



sont cultivées : seigle, pastel des teinturiers, chicorée. Les résultats (figure page 4) montrent clairement que les systèmes racinaires profonds sont bénéfiques. Alors que le seigle possède très peu de racines en dessous de 80 cm, la chicorée et le pastel envoient des racines jusqu'à 2,40 mètres de profondeur. En complément, les chercheurs ont prouvé que le prélèvement des nitrates est corrélé à la présence de racines dans les couches profondes du sol. Ainsi, la quantité de nitrates présente dans le sol est de 53 kg/ha après une culture de seigle et de 15 kg/ha après une culture de pastel des teinturiers. Sans couvert, la quantité de nitrates est de 62 kg/ha. Les différences les plus évidentes en matière de stock de nitrates se situent en

dessous d'un mètre de profondeur en lien direct avec les profondeurs et densités racinaires.

Observer facilement les racines à 4 m de profondeur

Cette première étude, bien que concluante, illustre la difficulté à étudier les racines profondes et à obtenir rapidement des résultats intéressants : sur les trois plantes étudiées, une seule sort vraiment du lot. Sans se détourner du terrain, l'équipe développe en 2017 des tours de croissance, pour acquérir rapidement des connaissances sur le fonctionnement des racines dans les couches profondes des sols (<https://www.youtube.com/watch?v=5eo6pY-6GOVw&feature=youtu.be>). Les tours de croissance ont été construites pour reproduire le



Formations Agronomiques Hiver 2020-2021



12 Janvier 2021

avec Johanna VILLENAVE-CHASSET

“Comment favoriser la faune auxiliaire en grandes cultures?”



14 Janvier 2021

avec Jean-Martial POUPEAU

“Comment concevoir une rotation culturale en système BIO sans élevage?”



15 Janvier 2021

avec Guillaume TANT

“Comment régénérer mon sol pour une agriculture économiquement performante?”



Prise en charge des frais de formation par VIVEA pour les agriculteurs cotisant à la MSA

Informations et inscriptions sur
www.sky-agriculture.com





Sélection d'une centaine de variétés de blé pour leur performance racinaire, sur l'installation Radimax.



Les tours de croissance, ici avec de la luzerne et du pastel des teinturiers.

plus possible les conditions d'un champ agricole : terre prélevée sur une parcelle locale, respect des différents horizons et texture du sol, intégration de vers de terre. Ce dispositif astucieux permet d'accéder rapidement au sous-sol et aux racines par des trappes de visite et de suivre l'absorption en éléments minéraux et en eau ainsi que de

tester l'effet de la sécheresse en manipulant facilement les conditions de culture. Ces tours de croissance ne sont pas complètement représentatives de ce qu'il se passe à 4 mètres de profondeur dans un champ (par exemple la température du sol dans les tours est plus proche de la température de l'air). En revanche, elles fa-

cilitent grandement le travail des chercheurs pour mieux comprendre les interactions sol-racines à cette profondeur jusqu'alors non explorée. En 2018, les premiers résultats montrent que la chicorée absorbe de l'eau, du potassium et d'autres éléments minéraux au moins jusqu'à 2,30 m de profondeur.

l'équipe travaille en parallèle aux champs. C. Clément a ainsi étudié le comportement de deux plantes pérennes à enracinement profond sur l'utilisation de l'eau : le kernza ou blé vivace et la luzerne. Le jeune chercheur a réalisé une partie de sa thèse aux États-Unis, où se déroule la sélection variétale du kernza. « *Les plantes pérennes ont un enracinement plus profond car leur cycle est plus long*, explique-t-il. *Le kernza a un enracinement impressionnant par sa densité mais cette densité diminue autour de 1,50 m et*

Impact de la sécheresse sur le blé pérenne et la luzerne
Gardant à l'esprit que ces tours de croissance constituent un environnement artificiel,

ICOSYSTEME
accompagner votre transition

Retrouvez Frédéric Thomas
Actus, focus techniques, invités...



5 émissions
en ligne



Espace ressources
24h/24h, 7/7, pendant 12 mois



Interactions



1 journée
sur le terrain*

NOV20 | **AVRIL21**

En ligne pendant 6 mois à travers des webinaires interactifs des focus techniques, d'actualités et des invités. Accès à des vidéos bonus, des podcasts, disponibles pendant 12 mois se cloturant par une journée terrain*.

LES RENDEZ-VOUS
D'UNE CAMPAGNE AGRICOLE

Inscrivez-vous directement en ligne sur
www.icosysteme.com








Jerry Glover présente les racines du kernza (Land Institute, États-Unis).

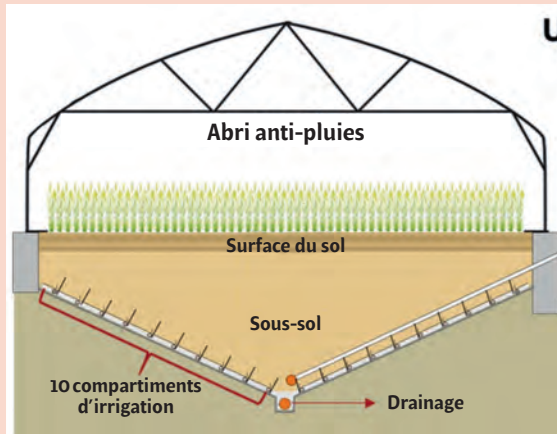


Radimax, la structure pour étudier les enracinements profonds

À mi-chemin entre les champs et les conditions de laboratoire, l'approche semi-champ permet de créer un environnement proche des conditions de terrain tout en réduisant les besoins en main-d'œuvre et en ayant une meilleure précision de mesure. En 2018, l'équipe du Deep Root Lab construit la plateforme de phénotypage Radimax, constituée de quatre plateformes de 400 m². Les cultures se développent en bandes perpendiculaires à un gradient de stress hydrique créé par un système d'irrigation souterrain à profondeur multiple. Les horizons pédologiques d'un champ ont été reproduits. La structure en V permet d'avoir un stress hydrique graduel de plus en plus fort vers le centre. Ce gradient crée un lien direct entre les observations racinaires et la réponse au stress dans les parties aériennes de la plante. Radimax rend possible les observations et mesures racinaires très précises grâce à 150 mini-rhizotrons (tubes d'observation des racines), dotés de dispositifs d'imagerie multispectrale. Cette plateforme ultra-innovante permet de tester rapidement une large quantité de variétés, de sélectionner les plus performantes pour les tester au champ, réduisant ainsi les coûts de sélection variétale, en éliminant les cultivars les moins performants d'un point de vue racinaire.



Construction du Radimax.



les racines s'arrêtent aux alentours de 2 mètres de profondeur. La luzerne a un enracinement moins dense en surface que le kernza mais plus profond, encore très présent à 1,50 m et présent jusqu'à 2,50 m. »

En mesurant pendant 2 ans l'utilisation de l'eau dans le profil avec des capteurs d'humidité du sol, C. Clément a montré que les deux espèces absorbent de l'eau à 2 mètres de profondeur mais que la luzerne utilise en plus grande quantité l'eau en profondeur.

Toutes deux ont très bien résisté à la sécheresse de l'été 2018. « Nous n'avons pas observé de pertes de rendement entre 2018 et 2019. C'est très prometteur et cela encourage à plus de considération des céréales et cultures pérennes en général car aujourd'hui, un gros travail de sélection variétale demeure : les rendements se situent autour de 10 quintaux à l'hectare », complète C. Clément. Les céréales pérennes restent intéressantes pour des fermes de polyculture-élevage et pour des marchés de

niche grâce à une production de fourrages et de paille importante et la possibilité de les faire pâturer qui vient compléter le grain.

Un enracinement du blé très lié à la variété

Les résultats dans les tours de croissance et au champ montrent la capacité de certaines plantes à utiliser les ressources profondes du sol. En revanche, les différences de résultats, notamment en dessous de 2,50 m de profondeur, nous

rappellent l'impact du type de culture, du sol ou de la température du sol et de la présence d'une nappe d'eau en hiver.

Avec l'objectif de sélectionner des cultures en fonction de leurs caractéristiques racinaires, l'équipe a développé, en collaboration avec plusieurs semenciers danois, une plateforme de sélection variétale appelée Radimax (voir encadré). Les chercheurs ont montré le lien entre le prélèvement d'azote et l'enracinement profond des variétés de blé (<https://www.youtube.com/watch?v=0pQKswEgWeg&feature=youtu.be>). Plus de 100 variétés de blé ont été étudiées en 2018 et 2019, illustrant les différences variétales en termes de caractéristiques racinaires variables. Ces résultats vont dans le sens d'une prise en compte plus importante de la profondeur et de l'activité racinaire comme critère de sélection variétale afin de stimuler/favoriser l'absorption d'eau et d'azote en profondeur.

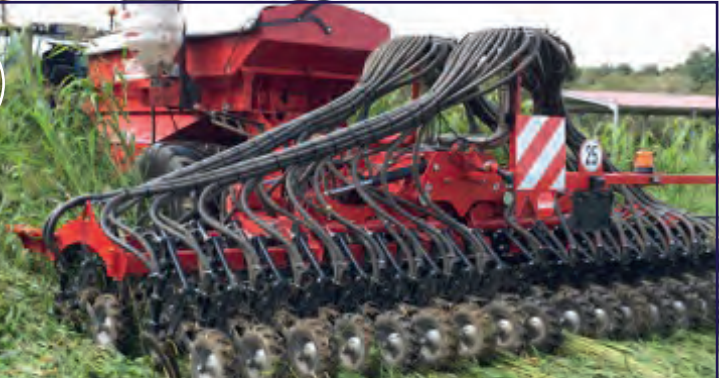
Prouver l'efficacité des systèmes en AC

Au Danemark, les surfaces cultivées en non-labour ont augmenté de 26 % entre 2017 et 2019. Tous ces projets de recherche cherchent à maximiser l'absorption d'azote, d'eau, la productivité et l'efficacité environnementale des cultures. Ils sont donc fortement liés à l'agriculture de



La version Anglaise du disque incliné

- Très faible perturbation du sol
- Pas de paille au contact de la graine
- Sillon toujours bien refermé



Eric De Wulf (+33) 03.23.54.72.13 • 06.07.06.63.78 • france@weavingmachinery.net
Marin De Wulf 06.31.73.97.04 • m.dewulf@weavingmachinery.net
www.weavingmachinery.net

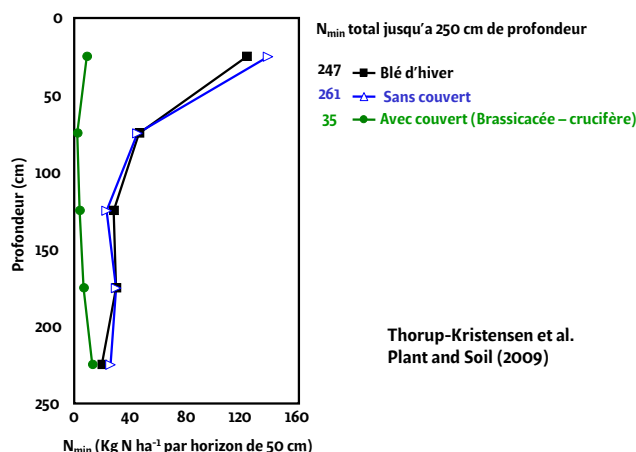




Couverts végétaux et captation profonde de l'azote

Cette expérimentation danoise sur des sols profonds montre déjà que la quantité d'azote libre dans l'ensemble du profil peut être très importante et avoisiner les 250 kg de N/ha à l'entrée de l'hiver. Ces mesures font également apparaître que la culture de blé, qui vient d'être mise en place, n'influence en rien l'azote disponible dans le profil bien que dans beaucoup de réglemations nitrates, le sol est considéré dans cette situation comme « couvert ». Bien entendu, la majorité de cet azote est localisée dans les 60 premiers cm, voire le premier mètre. En opposition, où les couverts ont été implantés après la culture, la quantité d'azote totale disponible est fortement réduite, d'autant plus que le couvert est une crucifère (35 kg/de N/ha pour la crucifère contre 78 pour la céréale). Au printemps suivant, en avril, en fonction de la pluviométrie, l'azote a beaucoup bougé et filtré dans le profil. Si la zone non couverte affiche encore un total de 248 kg N, la majorité de cet azote est maintenant descendue en dessous d'un mètre de profondeur (dans ce type de sol profond, il n'est pas encore vraiment sorti du système alors que dans le cas d'un sol beaucoup plus superficiel, cet azote serait déjà perdu). Même si ces chiffres peuvent laisser penser qu'il n'y a pas encore eu beaucoup de lessivage, un niveau de 35 kg de N/ha dans l'horizon 2-2,5 m laisse penser que la minéralisation de novembre à avril est déjà partie dans des zones encore plus profondes ou, a tout simple- ment quitté la parcelle. En comparaison, la répartition de l'azote sous le blé d'hiver, suit la même courbe avec une centaine de kg de N/ha en moins (logiquement l'absorption du blé à cette époque de l'année) avec cependant, encore 144 kg de N/ha dans le profil dont la majorité a passé le cap de 1 m de profondeur. Enfin et pour les mesures du mois d'avril, le couvert de crucifère, qui a été certainement détruit par le gel de l'hiver, affiche 109 kg/ha mais la quasi-totalité de cet azote se situe dans les 60 premiers cm. Ces résultats démontrent bien l'effet « pompage » ou « remontage » qui justifie déjà les couverts sur le seul sujet de l'azote et la protection de la qualité de l'eau.

N_{min} (Novembre) sous blé, avec et sans couvert végétal



Enfin et après la récolte (graphique 3), l'ensemble des cultures (blé d'hiver et blé de printemps) semble avoir vidé le profil dans les premiers horizons, ce qui semble logique. Cependant, en profondeur, le blé de printemps sans couvert de crucifère laisse tout de même 145 kg de N/ha alors que le niveau d'azote résiduel avec la conduite « couvert » est négligeable étant donné l'épaisseur considérée (38 kg de N/ha sur 2,50 m d'épaisseur). Pour ce qui est du profil azote du blé d'hiver (conduit sans couvert), le niveau libre est également réduit avec seulement 59 kg de N sur 2,50 m. Si ce résultat reflète une végétation et un rendement supérieurs comme un enracinement plus profond en comparaison du blé de printemps, il est clair qu'une quantité non négligeable (la minéralisation d'une partie

SEMOIRS PNEUMATIQUES



Semoir pneumatique de grand rendement (Vitesse de travail élevée)

Largeur de travail de 4 à 7,2 m

Train de semis en trois éléments indépendants du châssis de la cuve

Double parallélogramme

Roues de jauge avant et arrière

Exclusivité AGUIRRE, cette conception unique vous garantit une régularité de semis inégalée

Electro-Drive, pesée électrique et modulation dosage par G.P.S.

> Le seul constructeur qui vous propose quatre trémie (quatre distributions) sur ce type de semoir; capacité totale jusqu'à 4000 L.

> idéal pour planter vos cultures associées

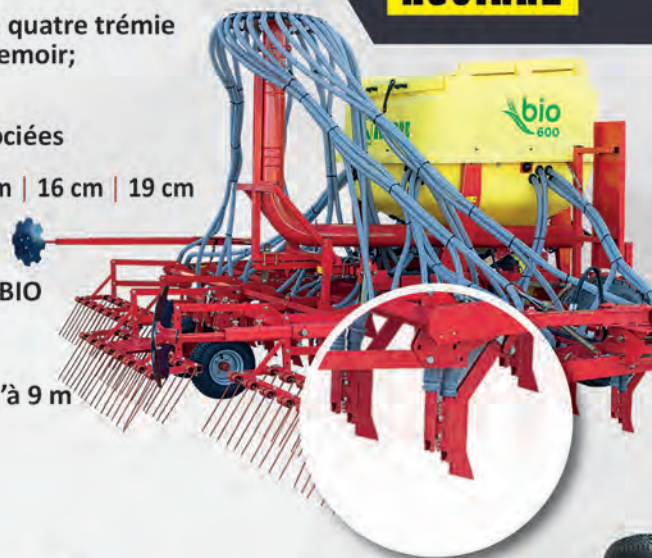
> Inter-rangs possibles: 12,5 cm | 14,5 cm | 16 cm | 19 cm

> Epaisseurs de dents: 12 mm

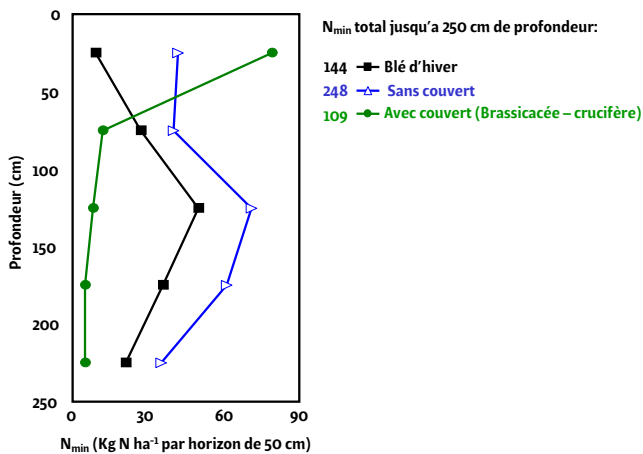
> Un modèle spécifique pour la culture BIO

> Dents avec double descente

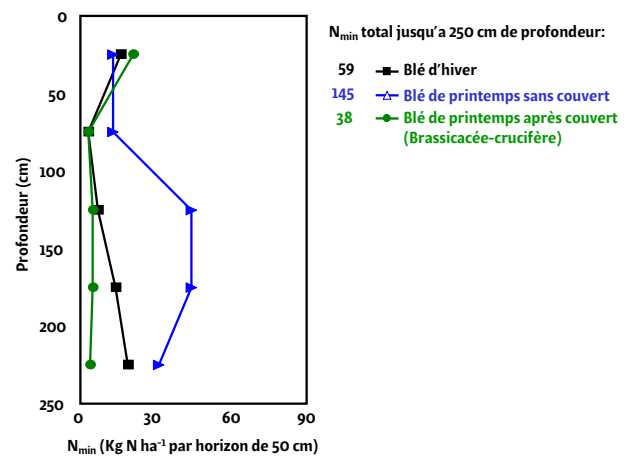
> Modèle traîné largeur de travail jusqu'à 9 m



N_{min} (Avril) sous blé, avec et sans couvert végétal



N_{min} après récolte de blé d'hiver et de printemps



de l'ensemble de la période de culture) a tout de même réussi à glisser dans des horizons plus profonds ou même quitté la parcelle. Si cette expérimentation démontre encore une fois le rôle stratégique des couverts végétaux, même dans des situations de sols profonds qui sont « normalement » moins sensibles aux fuites, elle met aussi en avant l'importance de la vitesse et de la profondeur d'enracinement des couverts et des cultures. Cette expérimentation démontre également le rôle important que le sous-sol (lorsqu'il est présent et colonisable par les racines) peut jouer en matière de fertilité. Il ne s'agit pas, comme beaucoup le pensent d'un simple réservoir en eau, l'alimentation des plantes se jouant sur les 30 premiers cm ! Il peut être une source d'azote qui est en train de descendre mais aussi d'autres éléments majeurs et oligo-éléments

que les mécanismes biochimiques et/ou les relations symbiotiques peuvent aider à mobiliser avant de les remonter vers les horizons de surface. Il s'agit ici d'une fonction de brassage mais aussi et surtout, d'enrichissement minéral de l'horizon de surface (quand le sous-sol le permet) qui n'est certainement pas assez mis en avant. Enfin cette étude sur les enracinements profonds vient renforcer l'intérêt des plantes pérennes dans les systèmes agricoles et encore plus dans les approches AC, afin de beaucoup plus facilement conserver l'azote dans le profil, notamment dans les sols assez superficiels mais aussi enrichir la fertilité globale de l'horizon de surface. Le semis direct sur couverts permanents de légumineuses pérennes se trouve bien renforcé dans sa logique et sa cohérence avec ces résultats danois. Frédéric THOMAS

conservation. Tomke Wacker a réalisé en partenariat avec des agriculteurs ACistes locaux comme Søren Ilsøe une première étude. Dans un premier temps, elle étudie l'impact du travail du sol, (non-labour, labour à 25 cm et travail simplifié à 10 cm) sur l'évolution du stock de nitrates. La chercheuse n'a pas observé de différences en termes de quantité de nitrates

dans le sol selon les modalités de travail du sol et de manière logique, elle a observé une quantité plus élevée de nitrates à l'automne et en début d'hiver. En revanche, en s'intéressant à la forme d'azote contenu dans les horizons de surface, elle observe une quantité nettement supérieure d'ammonium en conditions de semis direct. Cela suggère un impact des pratiques d'AC

sur l'immobilisation et la minéralisation de la matière organique, qui vient modifier le cycle de l'azote. Dans un second temps, Tomke a étudié les communautés microbiennes présentes dans le sol en mesurant la respiration des microbes en réponse à différentes sources de sucres. D'une part, la respiration est directement corrélée au stock de micro-organismes.

D'autre part, certains composés comme l'arginine et le trehalose, sources d'alimentation des champignons, sont consommés de manière plus efficace en AC qu'en système labour. Ils favorisent la décomposition de la cellulose et donc des résidus. La chercheuse a pu démontrer qu'en AC, le stock de micro-organismes est plus diversifié dans le profil qu'en système labour.



Roue de jauge à bâtons pour semoirs à disques ouvreurs

410x115 LV & 410x82 LV

- ✓ Technologie FARMFLEX® pour un auto-nettoyage optimal
- ✓ Conception haute performance : moyeu, jante, pneu
- ✓ Concept unique breveté OTICO
- ✓ Evacuation de la terre grâce à la jante à bâtons ➔ aucun blocage possible

Consultez l'ensemble de la gamme sur otico.com

“ Roues agronomiques hautes performances ”



www.otico.com
01 64 08 60 75

info@otico.fr
77650 Chalmaison, FRANCE



La stœchiométrie de l'humus

Faites-vous partie de ceux qui fertilisent pour éviter la faim d'azote et pouvoir créer de l'humus à partir des pailles? En AC, le système peut manquer de nutriments pour immobiliser le carbone sous forme d'humus. En 2010, Jérôme Labreuche (Arvalis) l'avait déjà montré : en systèmes AC, le taux de carbone organique diminue harmonieusement de la surface vers la profondeur. Il est plus faible à 40 cm qu'en système labour. Les mêmes conclusions ont été obtenues par Tomke Wacker dans le contexte danois. Alors pourquoi n'a-t-on pas plus de carbone organique en AC? Les sols sont régis par de grands équilibres que nous devons respecter, parmi lesquels « la stœchiométrie de l'humus » ou les rapports entre les atomes de carbone, d'azote, de phosphore et de soufre qui doivent être bien équilibrés pour produire de l'humus : C:N:P:S = 1000:80:20:14. Cela explique en partie pourquoi laisser de la paille ou importer du carbone ne suffit pas à faire monter les taux de matières organiques.

Le rapport bactéries/champignons est plus faible en AC notamment en surface. Ainsi, elle suppose que la minimisation des bactéries entraîne aussi une réduction des bactéries nitrifiantes. Cela conforte l'idée qu'il y a moins de nitrification et donc de nitrates, et plus d'ammonium en AC, donc potentiellement moins de fuites via le lessivage mais aussi potentiellement moins d'émissions de protoxyde d'azote.

Sans couverts, on n'observe pas de différences sur le taux de nitrates des sols entre labour et TCS. Avec des couverts, un sol non travaillé a un stock d'ammonium toujours supérieur à un sol travaillé, et la quantité d'ammonium est beaucoup plus stable dans le temps. Le stockage du carbone par les couverts est lui aussi couplé à la quantité de l'azote et à son cycle (voir encadré).

Un grand nombre de plantes, pérennes et annuelles, peuvent développer des racines profondes (> 1 m) et accéder à un stock inutilisé d'éléments minéraux et d'eau. Les cultures pérennes, bien que peu utilisées en agriculture aujourd'hui, ont un fort potentiel agronomique, notamment pour les fourrages et la production de bioénergie.

Mais alors comment obtenir des racines profondes? Les recherches commencent à produire des résultats intéressants sur l'importance du choix des espèces, de la sélection variétale mais aussi des pratiques comme les bénéfices du semis précoce et de l'importance de la structure et de la porosité du sol. Et si demain l'agriculteur pouvait en plus des autres critères, obtenir les caractéristiques racinaires d'une variété afin d'encore mieux préciser son choix? En parallèle, ces



La chercheuse Tomke Wacker devant le pastel des teinturiers, plante à forte biomasse et enracinement profond.

résultats renforcent l'idée que l'impact réel de l'AC vient de la présence, du choix et de la gestion des couverts. En captant les nitrates et en les redistribuant dans le sol, principalement sous forme d'ammonium, ils agissent sur le cycle de l'azote et les communautés microbiennes. Mieux encore, ces résultats renforcent l'intérêt des itinéraires intégrant des couverts permanents très diversifiés.

Les chercheurs danois, sous la pression des contraintes lo-

cales, ont ainsi donné la priorité à des projets de recherche dont les résultats bénéficieront à d'autres régions. À l'échelle européenne, c'est un outil de plus pour créer des régulations qui ont du sens. Et encore une fois, c'est l'expérimentation et le partage qui permettront au terrain d'avancer, en interaction constante avec des chercheurs qui travaillent avec des agriculteurs ACistes.

Opaline LYSIAK, avec l'équipe du DeepRoot Lab et notamment Corentin CLÉMENT

Des tours de croissance pour comprendre les racines profondes



Radimax, pour sélectionner des variétés performantes pour l'eau et l'azote



Le Stell'air : le mulching par Actisol !

Sécurisez vos semis à la volée, mulchez vos couverts et gagnez en efficacité

Conservez une longueur d'avance.

Actisolez!