



## EXSUDATS RACINAIRES L'ESSENCE MÊME DES SOLS

Difficile d'imaginer ce qui se trame sous la surface du sol. Et pourtant... Ce milieu, invisible à nos yeux, est sans doute encore plus « vivant » que ce que nous percevons au-dessus de la surface. Sous nos pieds, des milliards de petites vies s'activent, toutes ayant une place et une mission définies. Et dans ce monde très peuplé, la racine a une place de choix. C'est elle qui pilote la vie autour d'elle. Pour cela, elle a une « arme » infaillible : ses sucres.

■ Rhizodépôts est un terme plus juste qu'exsudats racinaires pour désigner ce qui est émis par une racine. Les rhizodépôts correspondent à l'ensemble des substances carbonées émises par une racine vivante et parmi lesquelles on va trouver les exsudats racinaires. Il existe donc plusieurs natures de rhizodépôts.

### Des exsudats mais bien plus encore

Les rhizodépôts comprennent :

- **Des cellules détachées** (on dit aussi exfoliées) issues de la coiffe, sorte de capuchon protecteur présent à la pointe de la racine. Cette production cellulaire peut être très importante : de quelques centaines de cellules par apex et par jour pour un pied de fève, à plus de 20000 pour un pied de maïs. Ces cellules, même si elles ne se multiplient plus, sont encore vivantes quelque temps avant d'être consommées par les micro-organismes du sol.

- **Des contenus de cellules et de tissus racinaires morts** (ly-sats) ainsi que des parties plus importantes de racines comme des poils absorbants cassés, voire des racines entières. C'est aussi une autre ressource carbonée libérée dans le sol.

- **Des mucilages** : contrairement aux autres rhizodépôts, ils peuvent être visibles à l'œil nu. Il suffit d'observer ce gel sécrété par les racines coronaires d'un pied de maïs à la faveur d'une rosée au matin. Les mucilages sont composés majoritairement de sucres complexes (polysaccharides) et plus modestement de protéines. Ils sont issus essentiellement de la photosynthèse et sécrétés au niveau de la coiffe mais aussi plus en arrière, par les poils absorbants. Petit aparté : la sécrétion de mucilages n'est pas le seul apanage des racines puisque des micro-organismes du sol peuvent aussi en émettre ; ce mucilage d'origine microbienne finissant par se mélanger au mucilage raci-

naire au gré de la croissance de la racine.

- **Les exsudats racinaires** : tout comme les mucilages, ils sont le fruit de la photosynthèse mais ce sont des molécules plus petites, solubles comme des sucres simples, des acides aminés, des acides organiques, des enzymes, des phénols ou encore des vitamines. De par leur nature « simple », ils sont les rhizodépôts les plus rapidement assimilés par les micro-organismes de la rhizosphère et sans aucun doute la part la plus importante, en quantité.

Comme nous allons le voir plus loin, ils revêtent une importance capitale car ils sont souvent le « relais chimique » dans les communications entre la plante et les micro-organismes de sa rhizosphère. Ils sont un peu l'outil de pilotage du milieu sol par les plantes.

### 10 à 20 % du C photosynthétique rhizodéposé

La plante produit donc des substances carbonées via la photosynthèse. Une partie de cette production se dirige vers ses racines. Bien que cela soit

Mucilages sécrétés par les racines coronaires d'un pied de maïs. Ce sont les seuls représentants de la rhizodéposition qu'on puisse observer à l'œil nu !



## La racine n'est pas qu'un tube

La racine est loin d'être un tube inerte où circule la sève. Elle est le lieu d'intenses mouvements et d'échanges entre la partie visible de la plante et le sol. Sa structure est cependant relativement simple comme nous le rappelle la figure ci-jointe.

De sa pointe vers sa base (B), nous trouvons :

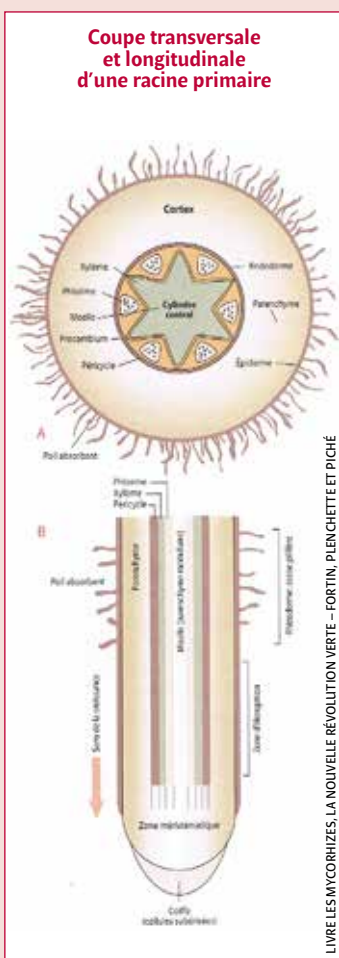
- Un apex comprenant une coiffe, sorte de capuchon de protection de la pointe et recouvrant une zone particulièrement importante pour la racine, sa zone méristématique où se multiplient les cellules racinaires.
- Une zone d'élongation dont les cellules sont issues de la zone méristématique.
- À l'arrière de cette zone, les premiers poils absorbants.

En coupe (A), une racine est constituée de l'extérieur vers l'intérieur par :

- L'épiderme (ou rhizoderme)
- Le parenchyme (ou cortex)
- L'endoderme
- Le cylindre central comprenant les deux types de conduits de sève :
  - Le xylème, conducteur de la sève brute (eau et sels minéraux) puisés dans le sol et se dirigeant vers le système foliaire, lieu de la photosynthèse.
  - Le phloème, conducteur de la sève dite élaborée, riche des produits carbonés fabriqués par la photosynthèse ; flux de sève qui, cette fois-ci, redescend.

Une racine a ainsi plusieurs fonctions :

- Elle ancre le végétal dans son « support », le sol.
- Elle puise dans le sol les ressources (eau et nutriments), seule ou en partenariat avec d'autres organismes.
- Elle stocke aussi parfois des sucres et nutriments, faisant office d'organe de réserve de la plante.
- Sur tout et c'est l'objet de ce dossier, elle pilote, via les produits carbonés qu'elle émet (rhizodépôts), la faune et les communautés microbiennes du sol au sein de la rhizosphère.



LIVRE LES MYCORHIZES, LA NOUVELLE RÉVOLUTION VERTÉ - FORTIN, PIENCHETTE ET PICHE



Les rhizodépôts peuvent être émis par la racine de manière active (nécessitant de l'énergie) ou passive, selon la loi osmotique, c'est-à-dire tout simplement en diffusant du milieu le plus concentré en élément vers le milieu le moins concentré. De ce fait, des éléments transportés passivement peuvent sortir de la racine ou y pénétrer ! Ces transports passifs ne doivent pas être sous-estimés.

une perte nette pour le végétal (cela lui coûte de produire ce carbone !). Il n'en est rien. Si l'évolution a conservé ce phénomène au fil des âges, c'est bien que la rhizodépôt a une grande importance pour la plante comme nous allons le présenter plus loin.

Les proportions indiquées peuvent bien sûr être très variables et dépendre de nombreux éléments liés au sol, à l'environnement mais aussi à la nature même de la plante. En fait, seules deux quantités peuvent réellement fluctuer de manière indépendante : celles destinées à la fabrication de racines et celles « perdues » par rhizodépôt ; la respiration nécessitant des quantités de carbone qui sont relativement proportionnelles à la biomasse racinaire produite (flux peu contrôlable par la plante). Il existe, par exemple, une différence entre plantes annuelles et plantes pérennes. Les pérennes investissent en toute logique beaucoup plus dans leur système racinaire que les annuelles et y consacrent donc plus de carbone. L'environnement joue

loin d'être évident à mesurer (surtout en plein champ), beaucoup de travaux se sont penchés sur les quantités ainsi transportées en sous-sol. Plusieurs chiffres ont été publiés mais on estime aujourd'hui, avec un peu plus d'assurance, qu'en moyenne, ce sont 40 %

des produits de la photosynthèse qui sont ainsi dirigés vers le système souterrain. Un chiffre important qui varie cependant considérablement (20 à 80 %) suivant les espèces et les environnements. Ces 40 % ont ensuite trois destinées :

- un tiers est utilisé pour la fabrication et le renouvellement de la biomasse racinaire.

• un tiers sert tout simplement au processus de respiration cellulaire.

- un tiers et non moins important, forme les rhizodépôts.

La plante alloue donc autant de carbone à la fabrication de racines qu'à la respiration et qu'aux substances qu'elle émet ensuite dans le sol ! C'est au final entre 10 et 20 % de carbone issu de la photosynthèse qui sont ainsi secrétés ou exsudés. On pourrait penser que c'est

**TCS a déjà consacré deux dossiers à la racine :**

- La rhizosphère dans TCS n° 32 d'avril/mai 2005.
- Racine et sol : un monde de communications dans TCS n° 57 de mars/avril/mai 2010.

## Semoirs rapides Kongskilde Vibro Seeder



Vibro Seeder 600 trémie AR



Vibro Seeder 800 trémie AV

Les semoirs à dents Kongskilde Vibro Seeder allient rapidité et précision.

Disposant de dents VTH (dent de déchaumeurs), les Vibro Seeder offrent un grand dégagement pour un flux régulier et une profondeur de semis constante.

**Kongskilde Howard France SA**

mail@hf.kongskilde.com • www.kongskilde.com

Disponibles en :

- Version porté et trémie arrière de 1100l de 4 à 6m
- Version porté avec trémie avant (1500 ou 1900l) de 4 à 8m
- Version traîné avec trémie avant (1500 ou 1900l) de 6 à 8m



aussi beaucoup. En cas de stress hydrique, de compaction ou de carence nutritionnelle, le végétal dépense plus d'énergie dans ses racines, même s'il est annuel. C'est une question de survie. N'oublions pas l'impact des conditions culturales. Grosso modo, les systèmes dits intensifs comme irrigués ou sur-fertilisés rendent, quelque part, les plantes assez « paresseuses » : pas besoin, dans ces conditions, d'investir autant dans un système racinaire étendu pour aller collecter des ressources qui sont apportées et facilement disponibles.

## Protecteur, liant, carburant et communicant

Les rhizodépôts ont un rôle majeur à différents niveaux :

- Un rôle de protection physique de la racine et tout particulièrement de sa coiffe, zone particulièrement fragile comme nous l'avons indiqué plus haut, car hébergeant les cellules de la croissance racinaire. À ce propos, on sait aussi que la plante est capable d'émettre davantage de rhizodépôts et de modi-

fier leur composition en cas de contrainte mécanique. Inversement, il a été montré que la présence de la coiffe et des cellules qui s'en détachent jouait un rôle essentiel pour faciliter la pénétration des racines dans les sols.

- Un rôle d'agrégation physique avec les particules élémentaires du sol, comme les argiles, rôle partagé avec d'autres acteurs comme les hyphes des champignons mycorhiziens ou les sécrétions de mucus des vers de terre. Les rhizodépôts (surtout les mucilages) forment une sorte de liant. C'est pourquoi, lorsque vous arrachez avec précaution une plante et son système racinaire, de la terre reste intimement accrochée à chaque racine et radicelle, permettant d'avoir une bonne idée de ce que peut représenter la rhizosphère (rappel de la définition de la rhizosphère : volume de sol autour des racines vivantes et soumis à leur activité).

- Un rôle alimentaire et donc énergétique pour tout le cortège microbien de la rhizosphère.

Il s'agit, sur cette photo, d'une plantule de maïs qui est morte de soif dans un pot après un test de germination. Sans avoir fait de pesée, on remarque facilement que le réseau racinaire est très développé et la biomasse souterraine est beaucoup plus importante que celle de la partie aérienne. Cet exemple démontre que les plantes, comme tout être vivant, sont capables d'orienter leurs dépenses énergétiques en fonction des besoins et des conditions. Ainsi, l'idée que 40 % de la photosynthèse soient alloués aux racines et aux exsudats n'est pas fautive, mais certainement sujet à d'importantes variations (dans une fourchette allant de 20 à 80 %) en fonction des plantes et aussi des conditions de cultures. Dans cette situation de détresse pour l'eau, cette plantule a dépensé la majorité de son énergie et de ses ressources à explorer le sol jusqu'à son épuisement : d'où l'importance de son système racinaire. Dans une situation différente, avec beaucoup de concurrence aérienne par des adventives, on sait également que le maïs va allouer plus d'énergie en surface pour essayer de prendre de vitesse ses concurrentes. Cette fois, c'est au détriment des racines et de son développement futur.



F. THOMAS

C'est pourquoi on dit que les rhizodépôts et tout particulièrement les exsudats racinaires, très facilement et rapidement assimilables, sont le carburant ou l'essence du sol ! Ce sont des molécules simples n'ayant, le plus souvent, pas besoin d'enzymes pour être hydrolysées et pouvant donc être directement absorbées par une large gamme de bactéries et de champignons du sol.

- Un rôle de communicant. Certains exsudats, pourtant produits en quantités infinitésimales, sont le signal spécifique de reconnaissance entre la racine et tel ou tel micro-organisme pour telle ou telle fonction. Ce peut être un signal pour attirer ou au contraire, pour mettre en garde et se protéger (en repoussant). Par ailleurs, il ne faut pas croire que toutes les substances rhizodéposées sont forcément utilisées et métabolisées par les micro-organismes. Une partie, très difficile à esti-

mer, est stockée dans le sol. La rhizodéposition contribue donc aussi à la séquestration de carbone dans le sol. Ce stockage se réalise partout où les racines sont présentes, y compris en profondeur et les substances en question n'ont pas la même durée de vie en profondeur qu'en surface.

Ainsi, de l'horizon superficiel jusqu'à, parfois, de grandes profondeurs (jusqu'où pénètrent les racines, plusieurs mètres, voire dizaines de mètres), le sol est le siège de flux et de stockage de carbone.



**Prenons un maïs à 18 tonnes de matière sèche aérienne par hectare. 40 % de 18 t correspondent à 7 t allouées aux racines dont un tiers, soit 2,3 t, sont libérées dans la rhizosphère. Ce n'est pas négligeable, non ?**

**PHOSPHORE DISPONIBLE**  
**MICROGRANULE**

QUALITE D'IMPLANTATION  
STARTER FERTILISATION

AU PLUS PRÊT DES BESOINS

**UMOSTART**  
**MICROPLUS**  
**NUTRIFAST**  
**RHIZOFORT**

ULTRA LOCALISATION TOUTES CULTURES



**Votre solution d'application sur mesure**

Contacts: Nord Ouest: 06 11 39 30 15  
Sud: 06 81 59 96 83 Nord Est: 06 71 65 24 85

**+d'info**



Si vous n'avez pas le N° 79 de TCS en main et que vous souhaitez lire la suite de ce dossier, vous pouvez le commander au 03 87 69 18 18. Pour plus d'information sur les TCS, le semis direct et les couverts végétaux, nous vous donnons également rendez-vous sur : [www.agriculture-de-conservation.com](http://www.agriculture-de-conservation.com)



PHOTOS: FT

Voici une parcelle de luzerne avec sur la partie droite une avoine qui a été implantée à l'automne pour assurer une couverture hivernale. Déjà, on remarque rapidement que le couvert de graminée, en occupant le terrain, limite l'installation du salissement. En prélevant une bêche de terre de chaque côté, la différence de structure est surprenante, malgré le faible développement du couvert. Si la présence de racines vivantes permet d'expliquer une partie de celle-ci, les exsudats racinaires stimulant l'activité biologique rhizosphérique pendant la période de repos de la luzerne ont certainement un impact tout aussi important.

F. THOMAS

### La plante oriente son cortège microbien

Il est maintenant admis que tout part de la plante. C'est elle qui informe, voire pilote ou oriente les micro-organismes qui vont constituer sa rhizosphère, même les pathogènes ! On a ainsi une concentration particulièrement importante de micro-organismes à cet endroit mais au-delà de la quantité, on a surtout une grande variété et une composition différente du reste du sol. Si le végétal est capable de dépenser autant d'énergie dans cette sélection, c'est qu'il y trouve son compte. Des micro-organismes vont ainsi faciliter sa nutrition, voire entrer en symbiose avec la plante. D'autres vont l'aider à lutter contre des pathogènes. Il existe alors une véritable compétition pour le carbone émis par le végétal au sein de la rhizosphère. L'objectif est d'arriver à une population microbienne équilibrée où, si possible, les « bons » sont favorisés par rapport aux « mauvais ». La plante sélectionne déjà son cortège microbien via une modifica-

tion du pH, comme l'a montré l'équipe de Philippe Hinsinger, Inra de Montpellier. Comme elle puise d'un côté des éléments nutritifs sous forme ionique (ions positifs ou négatifs) pour son alimentation, elle doit équilibrer les charges en relarguant soit des protons H<sup>+</sup>, soit des anions (notamment OH<sup>-</sup>). D'où ces variations de pH au sein même de la rhizosphère qui peuvent atteindre jusqu'à deux ou trois unités pH ! La plante oriente ensuite ses communautés microbiennes via ses rhizodépôts, c'est-à-dire la nourriture qu'elle leur apporte et les signaux spécifiques qu'elle leur envoie. Les micro-organismes les plus nombreux sont ceux qui sont capables de se mouvoir rapidement et très vite assimiler ces ressources carbonées et les métaboliser. On a, en premier lieu, les bactéries puis les actinomycètes, les champignons, les protozoaires, les algues et le reste de la microfaune. Comme le souligne P. Hinsinger, « on a ouvert une véritable boîte de Pandore. Il y a autant de types de relations que d'acteurs en jeu



**EXPRESS TD**  
LA TECHNOLOGIE DU PRONTO EN VERSION PORTÉE

- ✓ Un seul outil pour tout faire : émietter, niveler, ré-appuyer, semer et plomber en un passage
- ✓ Utilisation polyvalente : sur labour préparé, préparation simplifiée ou en direct
- ✓ DiscSystem : double rangée de disques pour préparer le lit de semences
- ✓ Rouleau FarmFlex à crampons : pour niveler et ré-appuyer de façon ciblée devant chaque élément semeur
- ✓ TurboDisc : guidage précis de la semence jusqu'au sillon, même à vitesse élevée
- ✓ Entretien minimum : aucun graisseur sur les pièces travaillantes – réglage sans outils
- ✓ Top service par un réseau formé et compétent

[www.horsch.com](http://www.horsch.com)

**HORSCH**

*L'agriculture par passion*

Tél. : 03 25 02 79 80

/Horsch

@HorschFrance

[www.horsch.com](http://www.horsch.com)

## Dès son plus jeune âge

Une racine, dès son émergence (lorsque la plante ne devient plus dépendante de la graine pour son alimentation), consacre de l'énergie à émettre des rhizodépôts et cela jusqu'à sa mort. Malheureusement, sachant qu'il est très compliqué de réaliser des mesures en plein champ, trop peu de données, voire pas du tout, existent sur l'émission dans le temps des rhizodépôts sur le terrain. C'est d'autant plus compliqué que ces émissions, hormis celles effectuées de manière passive et donc non contrôlables par la plante, sont extrêmement variables car impactées par de nombreux facteurs environnementaux : contraintes physiques, chimiques et biologiques du sol, nature des végétaux proches, climat, conditions culturales (travail du sol, intrants...). C'est aussi très difficile à mesurer car la durée de vie des rhizodépôts, surtout les petites molécules des exsudats, est très courte (quelques heures) – ils sont très vite intégrés et métabolisés par les micro-organismes du sol. On peut cependant avancer que la rhizodéposition est également liée à l'activité photosynthétique. Lorsque cette dernière faiblit, la rhizodéposition fait de même.



Trop souvent, on attribue la fonction d'exsuder à des plantes en développement ou matures. Cette jeune plantule de maïs qui n'est pas encore sortie de terre tend cependant à prouver le contraire. À la vue de cet exemple, il semblerait que la plante envoie dans le sol des exsudats dès la germination afin de préparer l'arrivée de la toute nouvelle racine et faciliter les premières communications et échanges entre la plantule et le sol. La plante « sacrifie » donc une partie assez importante de ses réserves séminales pour cette fonction, d'où l'intérêt de considérer avec encore plus d'attention le PMG des semences. Il ne s'agit pas seulement de fertilité minérale, de réserves pour se développer dans le sol et à la surface pour devenir autonome grâce à la photosynthèse mais il s'agit aussi de réserves énergétiques qui vont être offertes à la vie du sol afin de préparer l'accueil biologique de la future plante et financer les premiers échanges.

F. THOMAS

En revanche, on en sait un peu plus sur les zones d'émission des rhizodépôts. Celles-ci ont surtout lieu au niveau des parties jeunes des racines. L'apex de la racine est un lieu privilégié d'émission de substances carbonées et notamment d'émissions passives, non contrôlées avec donc des quantités transférées très importantes. Au niveau des parties plus anciennes de la racine, on trouvera d'autres rhizodépôts et notamment des cellules qui se rompent et qui meurent. Enfin, il faut aussi prendre en compte l'aspect dynamique de la localisation des rhizodépôts. À partir du moment où la racine, à son apex par exemple, s'apprête à émettre tel ou tel exsudat, elle continue de croître (dans les cas les plus extrêmes : 3 cm par jour !). Quand les exsudats sont émis à l'apex, le temps nécessaire au développement des communautés microbiennes est tel que celui-ci ne se produit pas à l'apex, mais plutôt un peu loin de ce dernier, par exemple au niveau de la zone d'élongation de la racine. Il y a donc forcément une certaine latence entre les réponses « chimiques » entre la racine et son cortège microbien.

et nous n'en sommes qu'au début des découvertes ! ». Prenons l'exemple de certaines carences et notamment celle en fer. Dans cette situation, les graminées telles que le blé, l'orge ou le maïs (et de nombreuses espèces prairiales) ont la capacité d'émettre des acides aminés appelés phytosidérophores. Ces exsudats ont la propriété de complexer les ions  $Fe^{3+}$  pour former un complexe stable, même au pH élevé des sols très calcaires, permettant à ces végétaux d'assurer leur alimentation ferrique en absorbant ces complexes. C'est le même principe en cas de déficit du milieu en phosphore mais avec des exsudats différents qui sont, dans ce cas-là, des acides organiques. La réaction n'est alors plus l'appariement des seules graminées mais d'une plus grande diversité de

végétaux. À l'inverse, en cas de toxicité aluminique (cas des sols dont le pH devient inférieur à 5, où l'aluminium se solubilise et devient toxique), les plantes se mettent à exsuder plus d'acide malique ou citrique qui ont la capacité de complexer l'aluminium et donc de le détoxifier. Les chercheurs ont d'ailleurs utilisé cette connaissance pour créer des végétaux génétiquement modifiés, capables de se développer dans des sols acides, et surtout pour sélectionner des variétés plus tolérantes à la toxicité aluminique. Certains exsudats sont relargués dans des quantités infinitésimales, tout en ayant un impact majeur. Ce sont des molécules signal. Elles ont été très étudiées dans le cas des symbioses et tout particulièrement la symbiose entre légumineuses et bactéries fixa-

trices d'azote, ainsi qu'avec les champignons mycorhiziens (à lire dans l'un des encadrés de ce dossier). D'autres molécules signal ont été identifiées plus récemment, et notamment lors d'attaques de phytoparasites. Le maïs, par exemple, est capable, au niveau de ses racines, d'émettre des substances volatiles suite à une attaque de son système racinaire par des larves d'insectes. Ces signaux ont pour but d'attirer les nématodes prédateurs des insectes responsables de l'attaque. À lire également plus en détail à la fin de ce dossier, le rôle fondamental des exsudats racinaires dans les processus de stockage et déstockage de matières organiques dans les sols. Deux groupes microbiens ont été distingués dans ces processus par l'équipe de Sébastien Fontaine, Inra de Clermont-

Ferrand : des stockeurs de matière organique humifiée et des déstockeurs de cette matière organique. Le « jeu » de stockage/déstockage, vital pour tout écosystème, se fait au gré de la concentration en nutriments dans le sol et parmi les organismes en jeu, les champignons auraient un rôle majeur. Les chercheurs de Clermont ont montré que les exsudats contribuaient à plus de 80 % à cette régulation microbienne de stockeurs/déstockeurs.

**Le carbone oui mais l'azote ?**  
Nous avons beaucoup parlé de carbone mais l'azote dans tout cela ? Que se passe-t-il en particulier dans les associations graminées-légumineuses ?  
Déjà, dans une association, ce n'est pas l'addition du cortège microbien de la graminée ajou-



## Imperturbable !

La réponse au dilemme Qualité de semis / Vitesse de travail

Découvrez la nouvelle suspension Monoshox®.EU avec amortisseur, le parallélogramme large à réglage rapide de pression, sa pointe à démontage rapide et son nouveau bloc arrière. Et profitez des conseils Monosem, le spécialiste de tous vos semis de précision.

Flasher et accédez à la vidéo Monoshox® NG Plus M

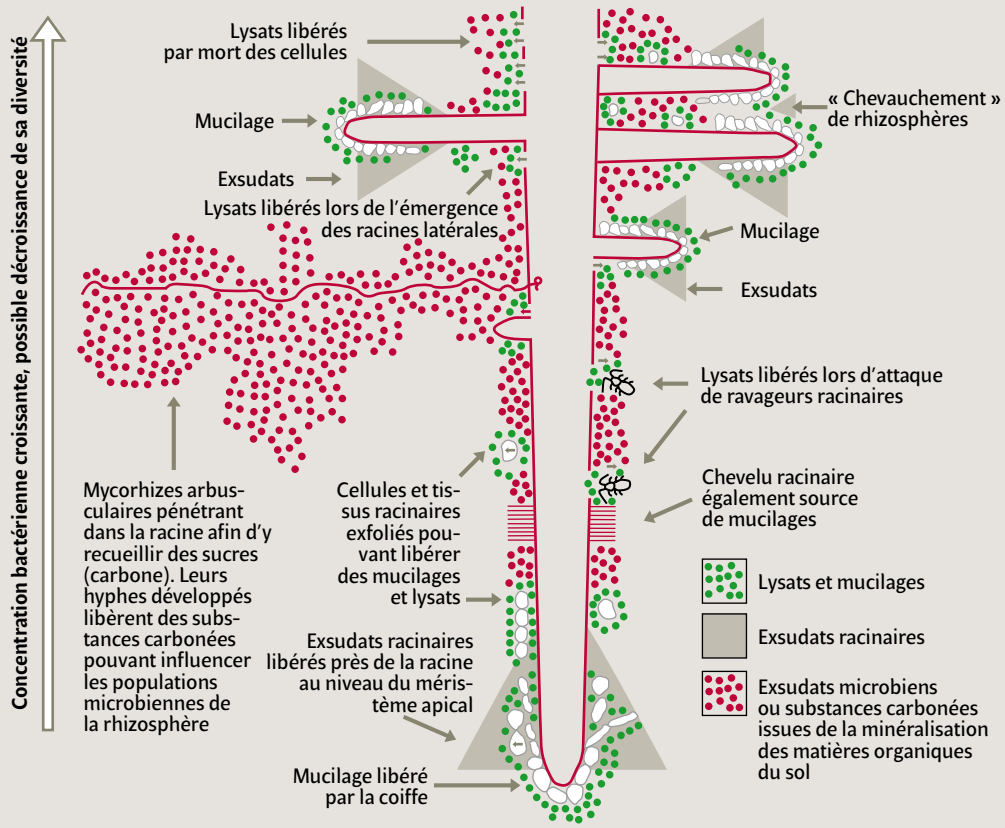


**MONOSEM**

www.monosem.com

## Rhizodéposition : origines et localisation

Ce schéma est tiré d'un article scientifique sur l'influence des exsudats racinaires sur les populations microbiennes, écrit en 2010 par les scientifiques anglais Paul G. Dennis, Anthony J. Miller et Penny R. Hirsch.



té à celui de la légumineuse. C'est un cortège différent, pas forcément plus volumineux mais plus riche et plus fonctionnel. « On a beaucoup dit et imaginé à propos de l'azote qui pouvait être relargué par les légumineuses, que ce soit au cours de leur vie ou après, en profite pour rappeler P. Hinsinger. Déjà, il est certain que c'est après sa mort qu'une légumineuse va relarguer le plus d'azote au sol (et de carbone). Cependant, n'oublions pas qu'une quantité non négligeable de rhizodépôts est, au cours de la vie de la plante, relarguée de manière passive, non contrôlable par le végétal et que ceux-ci peuvent contenir des quantités significatives d'azote sous la forme d'acides aminés, petits peptides ou protéines. Les connaissances actuelles suggèrent que cette quantité, chez une légumineuse, pourrait être deux fois celle d'une graminée. Des travaux ont même mesuré que dans les premières semaines d'une association légumineuse/graminée, 20 % de l'azote prélevé par la graminée aurait pour origine l'azote de la

explOrer  
Biostimulant de la rhizosphère

## Prenez le meilleur à la racine

Positionné en localisé au moment du semis, le biostimulant explOrer développe l'enracinement du maïs. Il permet de produire plus et mieux avec de véritables bénéfices: **valorisation de l'eau et des minéraux, résistance aux stress climatiques, augmentation du rendement.**



Une innovation PRP Technologies  
Tél.: +33 (0)1 56 54 28 40 - Mail: contact@prp-technologies.fr



### Le saviez-vous ?

La miellée ou le nectar produit par le colza est voisin de 200 l/ha pour une teneur en sucre moyenne de 48%. Cela représente environ 100 kg/ha de sucre, une quantité non négligeable d'énergie, que le colza offre aux abeilles et tous les butineurs pour qu'ils assurent le travail de pollinisation. En fait cet exemple d'exsudat aérien, plus facilement perceptible pour beaucoup d'entre nous, illustre parfaitement le fonctionnement des plantes et les rôles des exsudats dans le sol. Elles ne subissent pas vraiment leur environnement mais l'organisent comme elles détiennent la ressource énergétique. Elles vont l'allouer à différentes activités biologiques au cours de leur développement qui vont

venir lui apporter des services bien spécifiques comme c'est le cas pour la pollinisation. Ces 100 kg/ha de sucre investis par la plante pour cette fonction très ponctuelle et bien déterminée, même si elle est stratégique, permet aussi d'envisager la quantité d'exsudats que la plante peut envoyer dans le sol tout au cours de sa vie.

F. THOMAS

légumineuse, notamment via cette rhizodéposition passive. De notre côté, en partenariat avec l'ESA d'Angers, nous n'avons pas abouti à cette proportion mais plutôt de l'ordre de 1 % et surtout, dans les deux sens ! De la légumineuse vers la graminée et inversement ! En conclusion, il ne faut rien statuer, trop peu de travaux nous le permettant. » À ce niveau de

lecture du dossier, la question se pose alors pour nous, producteurs : puisque la rhizodéposition n'est pas une perte de carbone mais au contraire, d'une extrême utilité pour développer un sol fertile et équilibré, comment l'entretenir et mieux, la développer ? Comment faire en sorte que la culture « rhizodépose » à souhait ?

### La solution : une végétation toujours diversifiée

Pour P. Hinsinger et S. Fontaine, relayés par d'autres spécialistes comme Jill Claperton au Canada, « le plus important, avant tout autre chose, c'est apporter de la diversité végétale ». Car qui dit diversité végétale (dans le temps et dans l'espace)

signifie plusieurs types de systèmes racinaires se succédant et cohabitant, du superficiel au plus profond, complémentaires les uns des autres. Chaque système, grâce à ses rhizodépôts, va développer son cortège microbien et les systèmes racinaires s'enchevêtrant, ils vont aussi dynamiser des populations mi-

### Symbiose mycorhizienne La plante déclenche mais le champignon impose

On connaît tous la fameuse symbiose mycorhizienne mais on est loin encore d'imaginer l'ensemble des communications qu'elle implique entre ses acteurs : la racine et le champignon. La relation est dite symbiotique : la plante fournit au champignon gîte et couvert et celui-ci offre au végétal une capacité d'absorption des nutriments augmentée. Mais comment dialoguent-ils ? Comment le champignon reconnaît sa plante hôte ? Comment celle-ci voit en lui un bon partenaire et pas un champignon pathogène ? Tout passe par un savant dialogue moléculaire entre les deux acteurs dont une partie vient d'être découverte par une équipe mixte de l'Inra de Nancy et de l'université de Lorraine, accompagnée par le Département américain de l'Énergie et l'université de Western Sydney. C'est la racine qui fait le premier pas. Lorsque celle-ci est apte à accueillir une symbiose, elle libère dans le milieu proche des quantités infimes de signaux moléculaires. Ces signaux sont alors perçus par les filaments mycéliens du champignon, ce qui déclenche chez celui-ci une ramification de son mycélium augmentant la probabilité de rencontre avec la surface de la racine, puis la libération de saccharides (lipochitoooligosaccharides ou facteurs MYC et, dans le cas des bactéries fixatrices d'azote, il s'agit d'oligosaccharides, les facteurs NOD) lui permettant d'être reconnu par la racine, puis de petites protéines spécifiques à la formation de mycorhizes. Ceci marque le début de la colonisation de la racine par le champignon. L'une des cibles de ces petites protéines émises par le champignon a été décryptée par ces chercheurs. Il s'agit du récepteur d'une hormone végétale connue, l'acide jasmonique. Connue car identifiée comme déclencheur de réactions de défense chez la plante lors de l'attaque par des organismes pathogènes. Ainsi, en cas d'attaque, cette hormone vient s'accumuler au niveau de son récepteur, s'y lie et le rend inopérant, neutralisant alors l'infestation. Dans le cas de notre champignon mycorhizien, les petites protéines arrivant sur le récepteur de l'hormone empêchent celui-ci de se lier à son hormone, supprimant alors toute la batterie de défenses que la plante aurait dû mettre en place. Si c'est la plante qui provoque la relation en attirant le champignon, c'est bien lui qui oriente la nature même de cette relation ; la plante étant, quelque part, sous influence, « obligée de suivre ». Cependant, il a aussi été démontré que la plante ne supporte pas la « tricherie » ! Si le champignon cesse de l'alimenter en phosphates (notamment), elle arrête, de son côté, de l'alimenter en sucres et digère même les éléments mycéliens que le champignon aura installés à l'intérieur des racines ! Si l'étude a porté sur la relation existant entre les racines d'un arbre et son champignon symbiotique, ces résultats peuvent très certainement être généralisés à d'autres symbioses mycorhiziennes. L'avenir nous le dira puisque fort de ces résultats, l'équipe poursuit l'étude. Elle compte, déjà, identifier les autres cibles végétales des protéines émises par le champignon.



UNIVERSITÉ LOUISE-MICHELLE, SOBRIÈRE, GUILAUME, RÉGATTE

# Sepeba

**Remise exceptionnelle  
-10 % sur toute la gamme\***



**ECV 2**  
Semoir de couvert  
végétal



**POLY'DOSEUR 2**  
Trémie auxiliaire  
polyvalente pour semoirs  
pneumatiques à céréales

02 41 68 02 02 – info@sepeba.fr – www.sepeba.fr

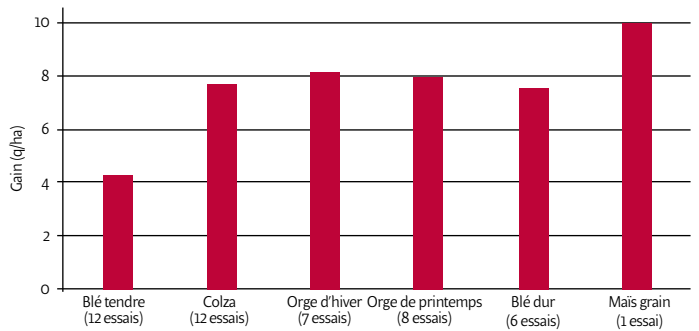
**SEPEBA : LA QUALITE MADE IN FRANCE**

\*Remise valable jusqu'au 15 novembre 2014  
sauf sur le Maxi'Doseur  
matériel livré en 2014 selon notre planning

crobiennes différentes que s'ils étaient seuls. On le sait parfaitement : il n'y a pas mieux pour développer un sol performant (et donc des plantes en santé comme disent nos homologues québécois) que d'avoir une activité biologique fonctionnelle, variée et équilibrée, assurant le plus d'activités et de fonctions possibles. Et un sol fonctionnel, aéré, bien organisé, où l'eau circule aisément, rend la tâche plus facile à la plante qui dépense alors moins d'énergie à faire son chemin, se nourrir, fabriquer son carbone et en redonne au sol. Encore une fois, dans cette diversité (que ce soit en cultures ou en couverts végétaux), les légumineuses ont le rôle principal. Cette famille est capable, grâce à ses exsudats, d'attirer deux types de symbioses : mycorhizienne et rhizobienne ; deux excellentes relations pour booster la croissance végétale. La première fait en sorte d'obtenir une très bonne activité photosynthétique de la plante, notamment en lui

permettant d'assurer sa nutrition phosphatée, et la seconde fixe « gratuitement » l'azote de l'air en échange, toutes les deux, de sucres. Sans oublier la structurante glomaline sécrétée par les mycorhizes... Un échange gagnant-gagnant. À cela s'ajoute, comme révélé récemment par les travaux de l'Inra de Clermont-Ferrand, un rôle fort des légumineuses dans la stimulation des deux populations microbiennes chargées de la régulation des stocks de carbone du sol. Il y a, bien sûr, l'impact des intrants, jamais négligeable. La fertilisation, les phyto mais aussi l'irrigation perturbent forcément le fonctionnement naturel du système. Les conduites dites « intensives » ont plutôt tendance à appauvrir et affaiblir l'agrosystème le rendant, du coup, dépendant de ces apports. On pourrait se dire qu'on facilite la tâche au végétal qui n'a plus besoin de dépenser plus d'énergie pour quelque chose qui lui est facile d'accès. Ce n'est pas comme lui

**Gain de rendement moyen de l'apport de P + K comparé au témoin sans apport**



En moyenne l'apport est de 98 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et de 77 kg de K<sub>2</sub>O/ha sur céréales et colza calculé par des méthodes référant au Comifer.

Ces résultats d'essais présentés récemment par l'Unifa montrent un avantage au recours à la fertilisation P et K et ce type de publication est logique venant de l'union des producteurs d'engrais. Cependant et en considérant les exsudats racinaires, il est normal qu'une fertilisation P et K apporte un gain de productivité même lorsque les éléments ne sont pas déficitaires dans le sol. En fait la plante, alimentée à la « petite cuillère » n'aura pas besoin de développer tout un stratagème, fournir de l'énergie aux communautés vivantes du sol et nourrir des mycorhizes pour trouver les éléments dont elle a besoin. Elle pourra donc allouer un plus grand pourcentage de sa photosynthèse aux parties aériennes, ce qui conduira normalement à une augmentation de la biomasse et du rendement. Si on applique le même raisonnement à l'élevage : n'essaye-t-on pas de maîtriser l'environnement des animaux afin de limiter les besoins dits « d'entretien » pour que la majorité de l'alimentation ne couvre que les besoins « de production » ? Cela ne signifie pas non plus qu'il faille surfertiliser les cultures car les processus biologiques, même s'ils entraînent une dépense énergétique, apportent une telle palette de bénéfices qu'il ne serait pas judicieux d'essayer de contourner, bien au contraire. Cependant et pour minimiser cette dépense énergétique, il faut s'assurer que la structure du sol est la plus favorable possible, comme la fertilité minérale, et que l'activité biologique est performante et fonctionnelle pour répondre rapidement aux stimuli de la culture.

F. THOMAS



Le soja, placé en poqués au démarrage du semoir, est plus beau et plus développé que celui qui est normalement positionné. Que ce soit pour le soja, le maïs ou toute autre culture, cette observation est courante dans les parcelles et après ce stade de « sur-viguer », la concurrence pour l'eau et la fertilité va souvent inverser la situation en faveur de la répartition la plus homogène. Cependant, ce phénomène, qui

illustre ce que nous appelons « priming effect » est en grande partie le résultat des exsudats racinaires émis par les jeunes plantules. Confinés dans un espace restreint, ces exsudats vont doper ponctuellement l'activité biologique qui va minéraliser et servir au mieux l'ensemble des plantules jusqu'à épuisement des ressources du sol. Cette observation démontre également que le facteur limitant au démarrage et l'installation d'une culture n'est pas que la température comme ici au printemps, mais aussi une forme de ressource énergétique et de fertilité biologique précoce. À nous de trouver le moyen de déclencher ce « priming effect » sur toutes les plantules sans surdensité afin de vraiment stimuler la levée et l'installation de nos cultures.

F. THOMAS

offrir un sol fonctionnel. Là, on va plutôt le rendre plus vulnérable. S'il reste toujours difficile de se passer d'intrants, on peut néanmoins lever le pied... Alors, l'AC dans tout cela ? Aux vues de ce que nous venons de décrire, appuyé par la recherche, il va sans dire qu'elle est formidablement bien armée pour que

les sols hébergent un cortège biologique des plus variés et fonctionnels. Bien armée pour assurer ce processus vital aux écosystèmes qu'est la régulation des stocks énergétiques du sol. En résumé : de la diversité végétale et des interventions culturales (y compris mécaniques, cela va sans dire), mesurées.

Cécile WALIGORA avec les relectures de Philippe HINSINGER - INRA UMR EcoSols Montpellier, Sébastien FONTAINE - INRA UREP de Clermont-Ferrand et l'aide documentée de C. BARBOT - CA Région Alsace et J. MOREAU - SARL Jacques MOREAU

**Easy Drill**

**NOUVEAU**

3 Produits - 3 Doses  
2 Profondeurs de semis  
1 Seul boîtier

**Formation à la ferme de la Conillais**

Attention 1<sup>ère</sup> date complète, réservez votre place pour la 2<sup>ème</sup> date: **Jeudi 18 décembre 2014**

**Comment réussir sa transition vers le semis direct ?**

Avec Frédéric THOMAS et Christophe De CARVILLE

**Inscrivez-vous !**

SKY Agriculture  
Ferme de la Conillais - 44130 BLAIN  
Tél: 02 40 87 11 24  
www.sky-agriculture.com



## L'humus est un « garde-manger » interactif piloté par l'activité biologique

Des travaux coordonnés par Sébastien Fontaine de l'Inra de Clermont-Ferrand montrent l'importance des matières organiques fraîches pour le bon fonctionnement d'un sol fertile.

« Au départ, les chercheurs voyaient le processus de stockage de la matière organique du sol comme un processus additif. En clair, l'ajout de matière organique fraîche devait forcément entraîner une augmentation de matière organique dans le sol. Mais ce n'est pas aussi simple. »

Ainsi s'exprime S. Fontaine qui vient de publier ses derniers travaux dans la revue *Global Change Biology*, une étape qui synthétise dix années de travaux sur la matière organique au laboratoire de l'unité de recherche écosystème prairial de l'Inra de Clermont-Ferrand-Theix. Les marquages isotopiques, l'étude des micro-organismes et les conditions dans lesquelles évoluent ces derniers permettent aujourd'hui de franchir quelques paliers dans la compréhension du fonctionnement d'un sol. S. Fontaine a eu le mérite, en collaboration avec d'autres chercheurs de l'Inra de Clermont-Ferrand et de Montpellier, de l'École normale supérieure de Paris et de l'université de Clermont-Ferrand, d'introduire la plante dans le modèle ap-

pelé *Symphony*. Les données nécessaires à l'étude ont été mesurées dans une prairie située à plus de 1000 mètres d'altitude durant plusieurs années. Avec les résultats obtenus, les prédictions deviennent plus réalistes en ce qui concerne la production de fourrages, le stock de carbone et l'azote lessivé mais aussi la modification des communautés microbiennes. Les résultats montrent l'importance de l'apport de matière organique fraîche en fonction des diverses communautés microbiennes et son impact sur l'humus.

Les chercheurs appellent aussi humus, la matière organique récalcitrante, car les éléments nutritifs qu'il contient sont plus difficilement assimilables par les micro-organismes que ceux qui sont contenus dans la matière organique fraîche. En réalité, l'humus est pauvre en éléments énergétiques mais riche en nutriments et se comporte comme le garde-manger des temps difficiles.

### Des populations microbiennes qui régissent la fertilité

Il existe deux types de populations microbiennes antagonistes, les stockeurs et les destockeurs de matière organique récalcitrante dont certains d'entre eux commencent à être connus par

les scientifiques. Les destockeurs dégradent la matière organique récalcitrante en utilisant la matière organique fraîche comme source d'énergie. Les plantes stimulent ces destockeurs en émettant dans la rhizosphère des substances riches en carbone (exsudats). Selon S. Fontaine, ces exsudats seraient acteurs à plus de 80 % dans cette stimulation !

Cela favorise la minéralisation de l'azote, azote que les plantes peuvent assimiler. Mais certaines populations microbiennes, les stockeurs, mobilisent uniquement l'azote de la solution du sol. Soit elles ne sont pas capables de minéraliser les matières organiques récalcitrantes, soit elles préfèrent absorber l'azote disponible, le processus de minéralisation exigeant beaucoup d'énergie.

Une partie de cet azote mobilisé est séquestrée dans la matière organique récalcitrante et ce jusqu'à des milliers d'années dans les couches profondes du sol.

En conséquence, une partie de la disponibilité de l'azote minéral du sol pour les plantes dépend en partie des phénomènes de stockage/déstockage de la matière organique récalcitrante effectués par les populations microbiennes. Ce processus est aussi contrôlé indirectement

par les végétaux. Si le taux de CO<sub>2</sub> est élevé, les plantes assimilent plus d'azote.

Cela stimule la minéralisation de l'azote et son relargage en dehors de l'humus. à l'opposé, un fauchage ou une récolte diminuent l'azote assimilé par les plantes. La minéralisation de l'humus n'est plus dopée. Au final, l'azote reste stocké dans l'humus.

### La valse du stockage et déstockage

Pour résumer, le sol, dans une prairie permanente, fonctionne comme une banque d'aliments, relarguant des nutriments quand l'assimilation des plantes est au plus haut et séquestrant ces mêmes nutriments quand l'assimilation de la plante est au plus bas.

Ce phénomène n'est possible qu'en présence des micro-organismes comme l'a montré l'équipe de S. Fontaine. Ces deux groupes de micro-organismes, bien qu'ils jouent des rôles antagonistes, se ressemblent. Ils sont limités par le carbone et l'azote selon le même ratio C/N, produisent de la matière organique récalcitrante et du CO<sub>2</sub> dans les mêmes proportions. Cet équilibre dans une prairie permanente peut fonctionner ainsi durant de nombreuses années, même quand les nutriments sont exportés par la fauche ou la

## Pas d'économie sans agronomie



**Actisol**  
Des solutions adaptées à vos besoins

Actisol c'est aussi une gamme :

- Viticulture
- Maraîchage
- Herbe

www.actisol-agri.fr  
23 Le Cornier - 4 rue de la Gatine - 49300 CHOLET  
Tél. : 02 41 52 50 00 - Fax : 02 41 52 08 06  
E-mail : info@actisol-agri.fr

récolte. Au printemps, avec la matière fraîche plus disponible, les conditions favorisent les destockeurs et le relargage des nutriments. Au contraire, à l'automne, avec la matière fraîche qui diminue, les stockeurs reprennent le flambeau et viennent regonfler le stock des nutriments dans l'humus. « *Nous l'observons régulièrement dans les écosystèmes comme les prairies permanentes, certifie le chercheur. Cet équilibre peut permettre une croissance des plantes sans apport minéral extérieur.* » Les résultats ont montré aussi qu'un apport de matière organique fraîche, des pailles par exemple, dans un sol pauvre en matière minérale, peut aboutir à un bilan négatif pour le carbone. La respiration microbienne va consommer plus de carbone qu'il n'en a été introduit par la matière organique fraîche. Cela s'explique par le rôle des micro-organismes. Les stockeurs vont être favorisés par l'apport de matière fraîche et vont dégrader l'humus. En revanche, le bilan va s'avérer positif si la disponibilité en azote est forte au moment de l'incorporation de la paille – soit par la présence de reliquats azotés, soit par des mélanges de pailles avec des résidus de

légumineuses. Les stockeurs d'humus vont alors être stimulés.

Autre résultat : Symphony, contrairement à ce que prévoient d'autres modèles, indique une capacité des sols à accumuler des matières organiques récalcitrantes de façon illimitée. Cette prévision se trouve vérifiée sur le terrain en comparant le stockage de matières organiques de sols d'âges différents.

### Vers des solutions concrètes

Pour le chercheur, il existe deux solutions aujourd'hui dans un sol cultivé pour tenter de retrouver les conditions d'équilibre d'une prairie permanente ou d'une forêt. Elles vont toutes les deux dans le sens des pratiques de l'agriculture de conservation. Le sol doit être constamment abondé en matières organiques fraîches pour maintenir une activité biologique importante. D'où l'intérêt d'implanter le plus souvent possible des couverts afin que le sol ne reste pas nu. L'autre solution est plus futuriste mais déjà ébauchée avec l'agroforesterie : « *Il serait intéressant de sélectionner des plantes pérennes, se prend à rêver S. Fontaine. Les blés en étaient au départ.* »

Marie-Dominique GUIHARD



Cette information et le résultat de ces recherches sont vraiment des éléments nouveaux qui expliquent parfaitement certains points essentiels où les avis peuvent être divergents :

- il ne suffit pas de laisser beaucoup de carbone et entre autres des pailles pour faire croître les taux de matière organique.
- les couverts associés de type biomax et aussi les légumineuses que nous plaçons dans nos rotations apportant de l'azote et des C/N équilibrés sont beaucoup plus performants pour redresser les taux organiques mais aussi les fonctionnalités globales des sols.
- les sols conservent mal l'azote chimiquement (soluble dans la solution) mais ils savent parfaitement le stocker et/ou mettre à disposition au travers de processus biologiques et via les matières organiques.
- les plantes pilotent via leurs exsudats racinaires une partie de l'activité biologique qui est capable d'aller lui chercher de la fertilité et entre autres de l'azote « stocké » dans les matières organiques.

L'agriculture de conservation, en préservant le milieu sol et en développant des stratégies avec des successions végétales autant imposantes que variées, s'appuie déjà et pourra encore plus s'appuyer sur ces phénomènes à l'avenir pour assurer l'alimentation de ses cultures en azote mais aussi l'ensemble des éléments.

F. THOMAS

**FURROW CRUISER** La solution aux problèmes de fermeture du sillon

Semoir monograinne et 750A

Distributeur : OpTill Diffusion  
optill-diffusion@gmail.com  
06-73-00-23-21

**AMEUBLISSEUR LOCALISE**  
Pour semis direct  
Utilisation en solo ou combiné avec semoir monograinne

**JAMMET**  
45390 ECHILLEUSES  
Tél : 02.38.33.60.04 - Fax : 02.38.33.59.74  
www.jammet.eu

**CLAYDON**

**Le système CLAYDON**

- Maintien des rendements (les augmente dans certaines conditions)
- Réduit les coûts d'implantation
- Permet l'économie de temps

**Demandez le DVD 2013 et le guide du semis direct CLAYDON**  
par mail ou par téléphone  
07 78 70 00 82 [info@claydondrill.com](mailto:info@claydondrill.com)