

# SEMENCES & PROGRÈS

www.semences-et-progres.fr

Dossier  
maïs

N° ISSN - 0395-8930 - Prix: 16,50 €  
N° 182 - octobre 2017

© Pierre Laroche



MAÏS

## Innover et conseiller pour valoriser les semences de qualité

p. 41



À la loupe

Prairies et pâturage sont un duo gagnant pour l'éleveur p. 74

© Gnis - Paul Dutronc

■ L'appro Phytos

p. 79

Prendre de la hauteur pour désherber le maïs

■ L'appro Fertis

p. 88

Simeos-AMG, pour aider à gérer la matière organique du sol

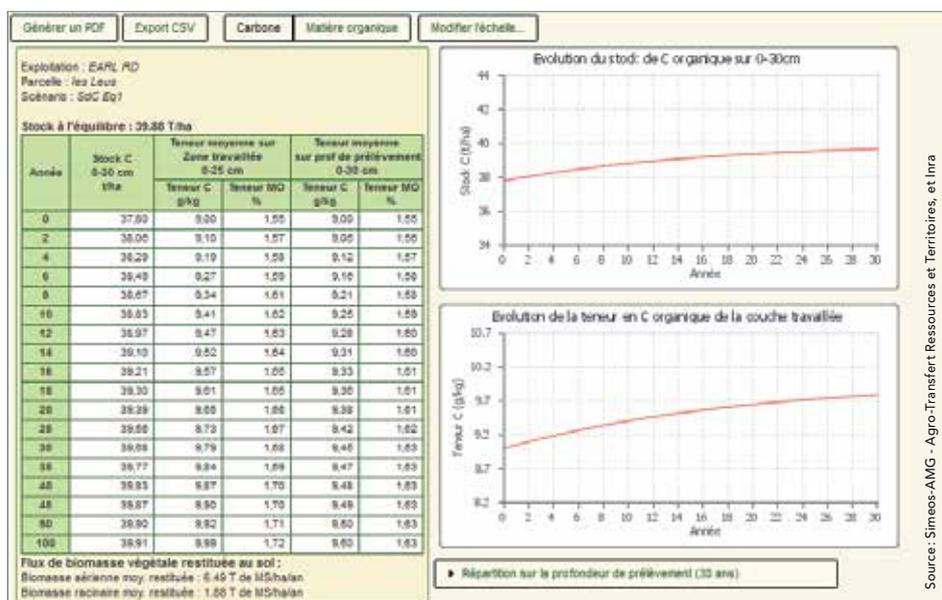
# Simeos-AMG : du bilan humique à la simulation de l'état organique du sol

Comment gérer les matières organiques pour améliorer la fertilité d'un sol ou stocker plus de carbone ? Quelles actions mener pour influencer positivement l'évolution de l'état organique du sol dans le temps ? Simeos-AMG est un outil conçu afin d'aider conseillers et agriculteurs à répondre à ces questions.

**S**imeos-AMG est un outil de simulation de l'état organique des sols développé par la structure Agro-Transfert-

Ressources et Territoires, sous la coordination d'Annie Duparque, avec l'appui de Vincent Tomis et des partenaires du projet Gestion et conservation de l'état organique des sols (GCEOS). Il intègre le modèle de calcul du bilan humique à long terme AMG, de l'Inra de Laon <sup>(1)</sup>. Le modèle AMG a été construit en vue d'étudier les effets des systèmes de culture et des pratiques agricoles sur l'évolution des teneurs et des stocks de matière organique de sols cultivés. Il dérive du modèle Hénin-Dupuis de 1945. Comme ce dernier, il prend en compte l'évolution des matières organiques fraîches apportées au sol par les résidus aériens et racinaires des cultures, les produits organiques résiduels (PRO), les cultures intermédiaires et la minéralisation des matières organiques humifiées du sol, en comparant les entrées et les sorties de produits carbonés du sol.

Sa nouveauté consiste à distinguer deux compartiments dans l'humus. Une partie regroupe les composés carbonés stables, dont le temps de résidence dans le sol varie de plusieurs siècles à plus de mille ans et représente entre 40 et 60 % du carbone total du sol. La deuxième fraction se renouvelle sur quelques dizaines d'années. Seul ce pool actif du carbone du sol est alimenté par le flux de carbone qui provient de l'humification des résidus organiques frais apportés, chaque produit ayant sa propre modalité d'humification en fonction de sa nature.



Une présentation synthétique et claire sur l'écran de sortie.

Dans le même temps, la fraction active est diminuée par la minéralisation annuelle de cet humus. Notons qu'une partie du carbone des résidus organiques n'est pas humifiée et est libérée sous forme de CO<sub>2</sub> lors de la décomposition.

Autre originalité du modèle AMG, il n'est pas figé dans le temps. Les chercheurs continuent de le faire évoluer et de l'améliorer. Une nouvelle version est attendue pour la fin de l'année 2017 (voir *L'Info en +*).

## Un logiciel simple à manipuler et interactif

Le modèle AMG alimente le logiciel Simeos-AMG pour simuler, sur le long terme, l'évolution des stocks et des teneurs en carbone organique des sols en grandes

cultures. Les données d'entrée et les paramètres nécessaires au calcul sont faciles à réunir par l'agriculteur. Soit elles proviennent directement de l'exploitation, soit elles sont disponibles dans des bases de données intégrées à l'outil. Elles concernent les systèmes de culture, les types de sol et le climat local. L'agriculteur doit d'abord saisir des données sur son cycle de cultures. Il doit indiquer la succession des cultures sur une rotation significative d'une durée de trois à six ans, qu'il compte reproduire à l'identique sur toute la durée de la simulation. Pour chaque culture, il faut renseigner le rendement moyen imaginable sur la période et la fréquence de restitution des résidus de cultures. Sur ce dernier sujet, on pense évidemment aux pailles

de céréales, mais il peut parfois s'agir de pailles de maïs ou de colza, exportées dans le cadre de nouveaux projets de valorisation énergétique. Il faut également indiquer le type de travail du sol - labour ou non labour - avec la profondeur maximale de travail; les quantités annuelles d'eau apportées dans le cas de cultures irriguées; les épandages - nature, dose et fréquence - des produits organiques; les pratiques en matière de couverts d'interculture, qu'ils soient détruits ou récoltés s'ils sont à vocation énergétique ou destinés à l'alimentation animale. Les cultures intermédiaires rendent de nombreux services et représentent aussi un des moyens les plus faciles pour modifier le stockage du carbone organique. Avec ces données, le logiciel calcule la quantité de carbone qui entre dans le sol pour la durée de la rotation. Ensuite, il reporte cette séquence pour la durée de la simulation choisie (20, 30 ans ou plus). Les données concernant le sol sont fournies par l'analyse de terre: teneurs en argile vraie, CaCO<sub>3</sub> total, cailloux, carbone organique. Il faut y ajouter la valeur de la densité apparente. À défaut d'analyse ou par souci de simplification, il est possible de choisir un type de sol

### L'INFO EN +

#### AMG, UN MODÈLE ÉVOLUTIF

Un consortium de quatre partenaires, l'Inra, Agro-Transfert, le laboratoire LDAR de Laon et Arvalis - Institut du végétal, a été créé en vue de poursuivre l'amélioration du modèle et le faire vivre. Le but est de garantir la maintenance du modèle AMG, de permettre son évaluation, de tester sa cohérence avec d'autres modèles (Stics par exemple), et de faciliter son utilisation pour développer d'autres outils qui pourront être labellisés AMG. Dans ce cadre, le modèle a été optimisé en s'appuyant sur une base de données constituée à partir des essais longue durée disponibles en France. Sont également prises en compte toutes les avancées scientifiques, notamment celles des travaux sur la minéralisation du carbone dans le sol. Les prairies temporaires vont bientôt être prises en compte et des travaux sont en cours à l'Inra de Laon, afin d'intégrer des cultures énergétiques comme le miscanthus ou, à plus longue échéance, la vigne.

#### SOIGNER LES PRÉLÈVEMENTS POUR L'ANALYSE DE SOL

La teneur en carbone organique du sol que l'on va entrer dans le logiciel Simeos-AMG détermine l'état organique du sol au départ de la simulation. Il faut donc que sa valeur soit la plus fiable possible, puisque tout le reste du calcul repose sur elle. Cette valeur est déterminée par l'analyse de sol. Comme elle est très variable spatialement, la prise des échantillons de terre destinés à l'analyse doit être effectuée avec une grande rigueur. Les conditions

des prélèvements (date, localisation, profondeur), mais aussi du travail du sol, doivent être renseignées avec précision. De la qualité du prélèvement dépend celle de la teneur initiale en carbone organique. L'Ademe vient de mettre en place un groupe de travail pour rendre la prise de cette mesure plus qualitative et améliorer la détermination des stocks de carbone des sols dans les différents programmes d'applications qui s'appuient sur cette valeur.

standard dans une base de données du logiciel fournissant automatiquement toutes les données nécessaires, sauf la teneur en carbone organique. Pour ce paramètre, les promoteurs de l'outil souhaitent que l'agriculteur le saisisse lui-même, afin de le sensibiliser à l'importance de cette valeur agronomique qui détermine le stock de carbone organique sur la couche prélevée au départ de la simulation. Elle influence beaucoup le résultat du calcul sur le long terme et doit être précise (voir encadré).

Il ne reste plus qu'à compléter l'ensemble avec les informations climatiques (températures, pluviométrie, ETP) mesurées sur l'exploitation, ou en choisissant un climat-type disponible dans le logiciel.

#### Des simulations sur le long terme, accessibles à tous

Après validation, Simeos-AMG affiche les résultats sous forme de tableaux et de graphiques des simulations de l'évolution du stock et de la teneur en carbone organique de la couche travaillée<sup>(2)</sup>, sur des périodes allant de 2 à 100 ans (modulable entre 20 et 100 ans). Ces deux dynamiques peuvent aussi être présentées en termes de stock et de teneur en matière organique. Le tout est complété par une simulation de l'évolution de la teneur sur la couche 0-30 cm pour visualiser le stockage-déstockage, et par une courbe indiquant la répartition du stock de carbone dans la profondeur du sol, selon le type de travail. Il suffit ensuite de modifier certains facteurs pour tester différentes simulations de l'évolution de l'état organique du sol.

L'outil d'aide à la décision (OAD) est disponible en ligne sous deux versions: l'une restreinte et gratuite, l'autre sous licence payante, à raison de 720 euros TTC/an<sup>(3)</sup>. La version gratuite, dite de démonstration, propose la saisie des scénarios, les simulations et l'obtention des résultats. Les scénarios sont perdus à la fin de la consultation et il n'est pas possible de les comparer en direct. Avec la version payante, l'utilisateur enregistre les différents scénarios testés. Il peut les comparer en direct, les exporter dans un tableur et capitaliser les données. Agro-Transfert offre la version complète, pendant quatre mois, à des fins de recherche ou d'enseignement et propose par la suite un tarif préférentiel de mise à disposition de l'outil pour les établissements d'enseignement et les équipes de recherche.

Simeos-AMG est un outil qui se veut très pédagogique, pour les conseillers agricoles et les enseignants. Il est simple à utiliser pour sensibiliser les agriculteurs et les étudiants et leur montrer l'importance des choix de pratiques sur l'évolution de la fertilité des sols.

**Sabine Bulot**

(1) Le modèle AMG tire son nom de ses auteurs Andriolo, Mary et Guérif de l'Inra de Laon.

(2) La teneur en carbone organique est la concentration de celui-ci sur le volume du sol considéré. Le stock correspond, quant à lui, à la quantité de carbone organique présent dans ce volume de sol.

(3) Une formation aux notions et principes agronomiques impliqués dans la gestion des matières organiques des sols est requise en préalable à la mise à disposition de l'outil.

## MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL

# Simeos-AMG : gérer le carbone organique, de la parcelle au territoire

Simeos-AMG est un OAD au large spectre d'utilisation. Il permet de simuler les évolutions de l'état organique des sols à l'échelle d'une parcelle, d'une exploitation comme d'un territoire. Cette capacité rend l'outil très intéressant à l'heure de l'agroécologie ou des bilans de GES.



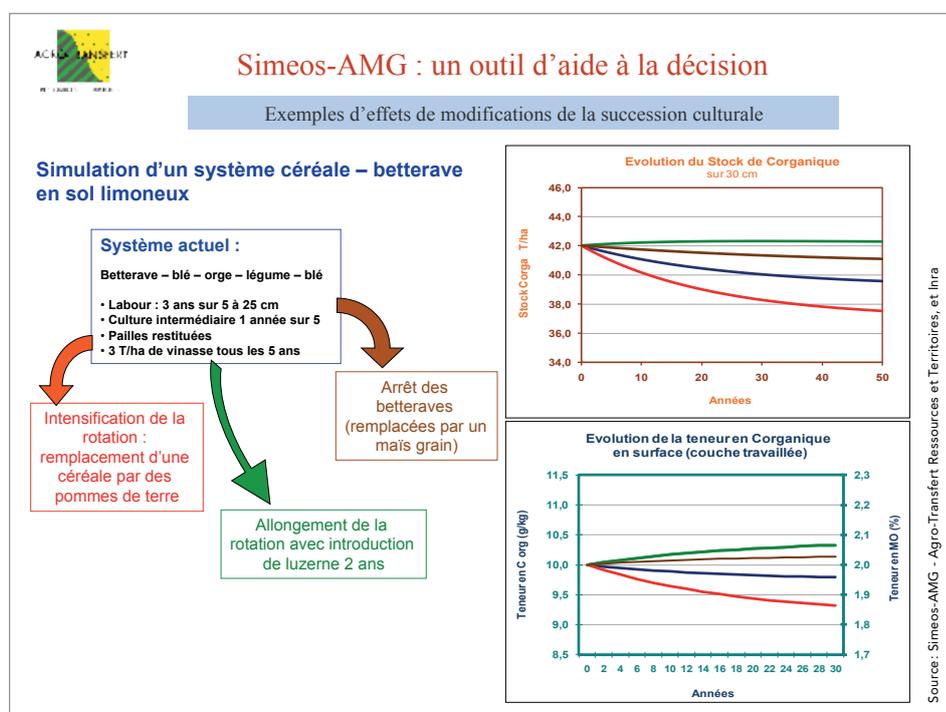
L'origine, Simeos-AMG a été conçu pour être un outil de conseil destiné à aider l'agriculteur dans sa gestion de

la matière organique du sol de ses parcelles. En tout premier lieu, il délivre un diagnostic agronomique du système de culture en évaluant l'effet des pratiques actuelles au travers d'une projection sur le long terme. Ensuite, il permet de tester des pratiques alternatives en jouant sur les leviers agronomiques possibles comme l'apport des produits organiques résiduels (PRO) ou celui d'amendements organiques fermiers, la restitution des résidus de récolte s'ils étaient exportés, la réduction du travail du sol, l'implantation de cultures intermédiaires, voire des changements de cultures dans la rotation.

L'agriculteur, accompagné par un conseiller aguerri à l'utilisation de Simeos-AMG, peut donc comparer les résultats des simulations des différents scénarios à celui de son système actuel, en examinant leur faisabilité en termes d'organisation du travail, de contraintes de matériels et bien sûr de coûts. Il peut tester différentes options avant de choisir un produit organique, ou résoudre des problèmes de transferts de fertilité sur l'exploitation, de battance ou d'érosion.

## Un conseil à travers des cas-types régionaux

Afin d'élargir la portée de ce conseil, Agro-Transfert a créé différents cas-types à partir d'une typologie croisée des systèmes de culture et des sols, représentant les principales problématiques de



Simeos-AMG permet de tester différents scénarios et de visualiser leurs conséquences sur les évolutions du stock et de la teneur en carbone organique.

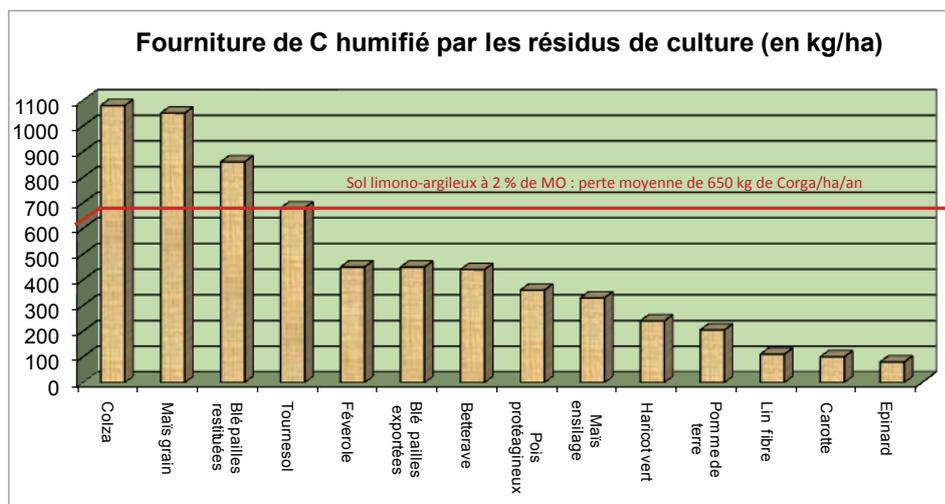
gestion des matières organiques. Des fiches synthétiques illustrent les leviers d'actions mobilisables et la conséquence des changements sur l'état organique du sol, avec une comparaison des scénarios possibles. Initiée en Picardie, la démarche peut facilement être transposée dans d'autres régions. Là encore, il s'agit d'un outil de dialogue dans le cadre d'actions de sensibilisation des agriculteurs à la gestion de la matière organique. Le conseil est avant tout qualitatif et s'appuie sur la forme des courbes des évolutions. Simeos-AMG a également servi à la construction de guides régionaux de

conseils sur les possibilités d'exportation des pailles de céréales sans hypothéquer la fertilité de la parcelle à long terme, dans le cadre du projet Cartopailles. L'interprétation des résultats des simulations est alors quantitative, puisqu'elle indique les taux d'exportation envisageables, en fonction du type de situation et de la teneur en carbone organique initiale. Au cours de cette étude, il a été mis en évidence que la restitution des pailles dans les régions céréalières s'avère une pratique très intéressante à envisager pour stocker du carbone dans le sol. En effet, dans un système céréalier, les résidus de

récolte peuvent apporter des quantités de matière organique non négligeables, ce d'autant plus que les rendements sont élevés. Par exemple, un blé à 90 q/ha fournit approximativement 9 tonnes de biomasse aérienne, à laquelle il faut ajouter le système racinaire. Des apports massifs de biomasse, et donc de carbone au sol, sont également fréquents avec le maïs et le colza.

### ABC'Terre, une utilisation à l'échelle du territoire...

Si Simeos-AMG aide l'agriculteur à prendre des décisions à l'échelle de la parcelle ou de l'exploitation, il intéresse également des projets de gestion de stockage de carbone à l'échelle plus large d'un territoire. La méthode a ainsi été mobilisée dans le cadre du projet ABC'Terre d'atténuation du bilan gaz à effet de serre agricole intégrant le carbone du sol sur un territoire<sup>(1)</sup>. Les objectifs d'ABC'Terre étaient de mettre au point une méthode d'évaluation du bilan carbone organique des sols à l'échelle des territoires, et d'intégrer le stockage du carbone dans les



Les résidus de récolte peuvent apporter aux sols des quantités de matières organiques loin d'être négligeables.

sols agricoles dans un bilan gaz à effet de serre (GES) au niveau des systèmes de culture et des territoires.

La démarche de mise en œuvre a d'abord consisté à réaliser un inventaire des combinaisons « systèmes de culture-type de sol-stock de carbone organique », spécialisées sur le territoire, avec les bases

de données nationales disponibles (PRG données Pac, référentiels régionaux pédologiques, base de données des analyses de sol...) et le logiciel PRG-Explorer. À partir de ces combinaisons, l'outil Simeos-AMG évalue s'il y a stockage ou déstockage du carbone en fonction des activités agricoles. L'étape ultime consiste à intégrer ces flux de carbone dans le calcul du bilan de GES, pour le système de culture et pour le territoire. La méthode a été testée en Picardie dans le Tardenois, pour étudier une atténuation possible du bilan de GES par modification des systèmes de culture, et en Alsace en vue de définir un indice de sensibilité à l'érosion et simuler les impacts de différentes pratiques sur ce risque.

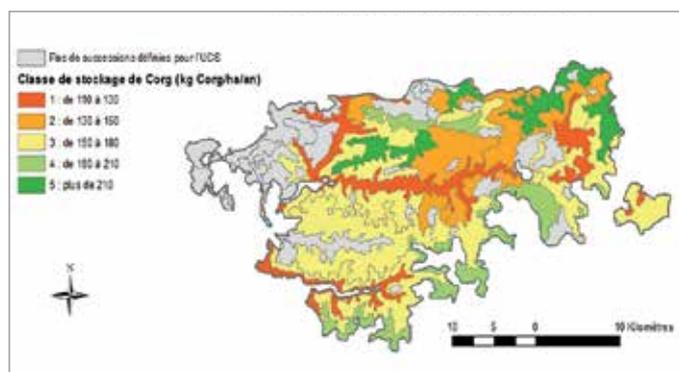
### ...en plein développement

Une deuxième phase d'ABC'Terre vient d'être lancée pour trois ans afin de favoriser le développement de la méthode et accompagner son transfert vers les collectivités territoriales. Financé par l'Ademe, ABC'Terre 2 concerne l'automatisation et la simplification de la méthode du bilan de GES, pour permettre des simulations à répétition, l'application de la méthode à un plus grand nombre de territoires et le transfert vers les collectivités. Des actions seront déployées auprès des acteurs locaux pour qu'ils prennent connaissance de la méthode et l'utilisent comme instrument en faveur du stockage du carbone dans le sol et de l'atténuation du bilan de GES, lors de l'élaboration des plans d'actions

## L'INFO EN +

### LE BILAN GES ABC'TERRE DANS LE TARDENOIS

Le bilan carbone organique des sols réalisé dans le cadre d'ABC'Terre sur le territoire du Tardenois, dans l'Aisne, montre qu'une majorité des situations « systèmes de culture x types de sol » sont en dynamique de stockage de carbone. Seules 6 % des surfaces agricoles prises en compte seront en déstockage de carbone organique si les pratiques actuelles sont poursuivies. En moyenne, sur l'ensemble du territoire étudié, la variation annuelle de stock calculée sur 20 ans est de 168 kg/ha/an. Cette valeur élevée s'explique par un stock initial de carbone organique du sol relativement faible mais aussi par le niveau élevé des rendements des céréales à paille, et donc des quantités de résidus de récolte apportant de la matière organique lors de leur restitution au sol. Dans les situations



Exemple de cartographie de l'évolution des stocks de carbone organique sur le territoire du Tardenois.

en déstockage, les émissions de GES, dues à la minéralisation de la matière organique du sol, représentent parfois jusqu'à 70 % des émissions totales. Dans les systèmes de culture stockant du carbone, les émissions de CO<sub>2</sub> évitées atteignent jusqu'à 76 % de l'ensemble des autres émissions.

territoriaux climat-air-énergie (PCAET). Pour des questions d'efficacité et d'expertise, on devrait s'orienter vers des binômes d'utilisateurs composés d'un agent territorial et d'un agronome, par exemple un technicien d'une chambre d'agriculture familiarisé avec l'outil.

Les élus locaux responsables de la gestion globale du territoire et de son équilibre peuvent se servir de la méthode pour sensibiliser les habitants. Les approches seront différentes selon que l'on se situe en zone urbaine ou rurale. Dans le premier cas, la population sera plus sensible aux questions sociétales globales, et donc directement au stockage du carbone et au bilan de GES. En revanche, en zone agricole, il pourra être plus productif de passer par l'agronomie et d'insister sur les services rendus par la matière organique, comme le maintien de la fertilité des sols, pour convaincre les agriculteurs de l'intérêt de mener des actions en faveur du stockage du carbone, même si, pour le moment, ils ne sont pas rémunérés pour cela. Avec ABC'Terre, il est possible d'argumenter pour orienter les pratiques culturales et les modalités de gestion des systèmes de culture, afin d'atténuer le bilan de GES en tenant compte des types d'exploitation et des sols. Par exemple, si le territoire comprend des zones de production de pommes de terre en situation de déstockage de carbone, il faudra encourager les céréaliers d'autres secteurs à maintenir ou développer le stockage de carbone favorisé par leur système, et ainsi créer et gérer des compensations à l'échelle du territoire.

### Bien d'autres usages possibles au service des agriculteurs

L'OAD a été mis à contribution dans une étude sur la façon de mieux répartir les PRO disponibles sur un secteur. Il le sera aussi dans le projet PROTERR, appel à projets GRAINE de l'Ademe <sup>(2)</sup>, pour examiner les possibilités d'entretenir la fertilité des sols en lien avec l'usage des digestats de méthanisation d'origine agricole et urbaine sur différents territoires.

Simeos-AMG trouve également sa place dans des projets liés à l'initiative « 4 pour 1000 » en vue de comparer la dynamique d'évolution du stockage du carbone organique d'une parcelle à la dynamique théorique d'augmentation annuelle de 0,4 %, dans différentes situations agronomiques ou systèmes de culture et, à partir de là, trouver le meilleur compromis pour tendre vers l'objectif.

Ces différents exemples illustrent le potentiel de cet outil pour aider les agriculteurs à comprendre l'impact de leurs pratiques sur les flux de carbone dans le sol, à l'échelle de la parcelle comme du territoire, et à choisir les pratiques les plus favorables au stockage.

S.B.

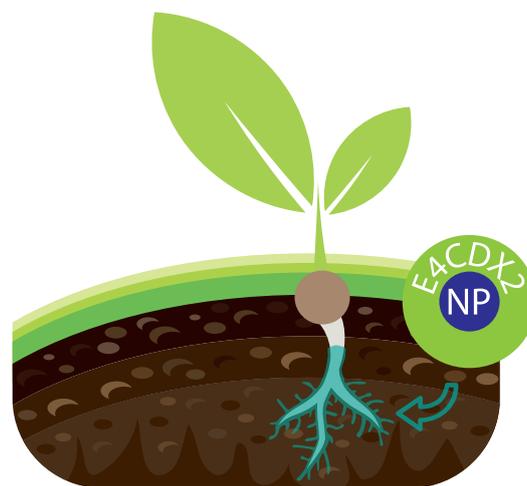
(1) Pour plus d'informations sur le projet :

[www.agrotransfert-rt.org/projets/bilan-gaz-effet-serre-abcterre/](http://www.agrotransfert-rt.org/projets/bilan-gaz-effet-serre-abcterre/)

(2) Projet porté par l'UMR Ecosys de Grignon.



## Le 1<sup>er</sup> BIOFERTILISANT homologué en association avec des engrais



**Stimulation de la croissance**  
du système racinaire.

**Augmentation de la biodisponibilité des éléments présents dans le sol :**  
l'azote, les oligo-éléments et en particulier le phosphore.



\*\*E4CDX2 est une préparation microbienne à base de *Bacillus amyloliquefaciens* additif agronomique pour matière fertilisante homologué, AMM n°1000030.